



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

# ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

*научный журнал*

ISSN 2542-0720



№1 (29)  
2022





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

# ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

TAURIDA HERALD  
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№1 (29)

2022

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 №

Тираж 500 экз.

Подписано к печати 26.04.2022.

Отпечатано с оригинал-макета

Дата выхода:

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

© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2022.

© Авторы статей, 2022.

© Авторы иллюстраций, 2022.

№1 (29), 2022

## 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»; Калмыкова Е.В., д.с.-х.н., доцент, ФГБНУ «ВНИИ орошаемого земледелия»; 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 ВГРС 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; Soyong 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 EDN (eLIBRARY Document Number).

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



AGRIS



ULRICH'S WEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google  
Академия

АНТИПЛАГИАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А., Турин Е. Н. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАЯТНИКОВОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТЕРНЕВОГО КУЛЬТИВАТОРА	8
Гулянов Ю. А. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ОЗИМОЙ РЖИ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ	17
Дудкина Т. А. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СЕВООБОРОТОВ, ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ	30
Егорова Н. А., Ставцева И. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭМБРИОКУЛЬТУРЫ ДЛЯ ОТБОРА УСТОЙЧИВЫХ К ОСМОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ ФОРМ ШАЛФЕЯ МУСКАТНОГО <i>IN VITRO</i>	41
Косенко С. В. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАЗЛИЧНЫХ ПО СКОРОСПЕЛОСТИ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	57
Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А. ЭМБРИОГЕНЕЗ <i>IN VIVO</i> ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ РЕГЕНЕРАНТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭМБРИОКУЛЬТУРЕ <i>IN VITRO</i>	65
Мамонтова Т. В., Айбазов А.-М. М., Селионова М. И. СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАБОЛИТОВ КРОВИ КАРАЧАЕВСКИХ КОЗ, РАЗВОДИМЫХ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГО- ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНАХ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ	79
Невкрытая Н. В., Аметова Э. Д., Новиков И. А., Грунина Е. Н., Коротких И. Н., Аникина А. Ю. СРАВНИТЕЛЬНО ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ДВУХ СОРТОВ МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ	90
Николаев П. Н., Юсова О. А., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. АДАПТИВНОСТЬ НОВОГО СОРТА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОМСКИЙ 102 В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	103
Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королёва Е. Н., Безбабченко А. В. ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНВЕКТИВНОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНЬКИ ОДНОТИПНОЙ НЕОРИЕНТИРОВАННОЙ	112
Пархоменко Г. Г., Божко И. В., Камбулов С. И., Пахомов В. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	123
Реут А. А., Бекшенева Л. Ф. ТОКСИКАНТЫ I КЛАССА ОПАСНОСТИ В ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ МНОГОЛЕТНИКАХ	132
Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Васильева Н. А., Ефимова Е. С., Якубовская А. И. ДЕЙСТВИЕ «ГУМИТОНА» И МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ	145

Турина Е. Л., Ефименко С. Г., Турин Е. Н. УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО МАСЛА РЫЖИКА ЯРОВОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ СЕВА И НОРМ ВЫСЕВА В КРЫМУ	155
Филина Я. А., Дунаева Е. А., Рассказова А. С., Смагин А. В., Джапарова А. М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЧЕРНОЗЁМОВ ЮЖНЫХ И АГРОЧЕРНОЗЁМОВ СЕГРЕГАЦИОННЫХ КРЫМА МЕТОДОМ РАВНОВЕСНОГО ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ	166
Чайковская Л. А., Баранская М. И., Клименко Н. Н., Овсиенко О. Л. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЫХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ СТРЕССОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	181
Шляхтина Е. А. АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	192

CONTENTS

Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Turin E. N. JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF THE PENDULUM IMPACT MECHANISM OF STUBBLE CULTIVATOR WORKING TOOLS	8
Gulyanov Yu. A. CURRENT STATE AND PROSPECTS OF WINTER RYE PRODUCTION IN THE ORENBURG REGION	17
Dudkina T. A. INFLUENCE OF DIFFERENT CROP ROTATIONS, RATES OF MINERAL FERTILIZERS AND WEATHER CONDITIONS ON THE YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION	30
Yegorova N. A., Stavtzeva I. V. THE USE OF EMBRYO CULTURE FOR THE SELECTION CLARY SAGE FORMS RESISTANT TO OSMOTIC STRESS <i>IN VITRO</i>	41
Kosenko S. V. PECULIARITIES OF THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM OF WINTER SOFT WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT RIPENESS GROUPS	57
Kruglova N. N., Seldimirova O. A. EMBRYOGENESIS <i>IN VIVO</i> OF DROUGHT-RESISTANT REGENERANTS OF SPRING SOFT WHEAT OBTAINED BY EMBRYO CULTURE <i>IN VITRO</i>	65
Mamontova T. V., Aybazov A.-M. M., Selionova M. I. SEASONAL CHANGES IN SOME BLOOD METABOLITES OF KARACHAY GOATS BRED IN DIFFERENT ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL AREAS OF THE KARACHAY-CHERKESS REPUBLIC	79
Nevkrytaya N. V., Ametova E. D., Novikov I. A., Grunina E. N., Korotkikh I. N., Anikina A. Yu. COMPARATIVE ECOLOGICAL STUDIES OF TWO <i>MELISSA OFFICINALIS</i> L. VARIETIES	90
Nikolaev P. N., Yusova O. A., Safonova I. V., Aniskov N. I. ADAPTABILITY OF A NEW SPRING BARLEY VARIETY ‘OMSKIY 102’ UNDER CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA	103
Novikov E. V., Altukhova I. N., Koroleva E. N., Bezbabchenko A. V. JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODES OF CONVECTIVE AND INFRARED DRYING OF TECHNICAL HEMP FOR THE PRODUCTION OF UNDIFFERENTIATED NON-ORIENTED HEMP FIBER	112
Parkhomenko G. G., Bozhko I. V., Kambulov S. I., Pakhomov V. I. QUALITATIVE INDICATORS OF WORKING BODIES FOR LAYER-BY- LAYER NON-MOLDBOARD TILLAGE	123
Reut A. A., Beksheneva L. F. TOXICANTS OF HAZARD CLASS 1 IN ORNAMENTAL HERBACEOUS PERENNIALS	132
Suslov A. A., Sviridenko D. G., Vasilyeva N. A., Efimova E. S., Yakubovskaya A. I. EFFECT OF “GUMITON” AND MICROBIAL PREPARATIONS ON THE ENZYMATIC ACTIVITY IN THE RHIZOSPHERE OF SPRING BARLEY	145



Turina E. L., Efimenko S. G., Turin E. N. SPRING <i>CAMELINA SATIVA</i> YIELD AND OIL QUALITY UNDER CONDITIONS OF THE CRIMEAN PENINSULA DEPENDING ON PLANTING DATE AND SEEDING RATE	155
Filina Ya. A., Dunaieva Ie. A., Rasskazova A. S., Smagin A. V., Dzhaparova A. M. DETERMINATION OF THE WATER RETENTION CAPACITY OF CHERNOZEMS SOUTHERN AND AGROCHERNOZEMS SEGREGATED IN THE CRIMEA BY THE METHOD OF EQUILIBRIUM CENTRIFUGATION	166
Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Klimenko N. N., Ovsienko O. L. EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOLOGICAL PREPARATIONS ON THE ADAPTIVE POTENTIAL OF YOUNG WINTER WHEAT PLANTS UNDER THE STRESSFUL IMPACT OF HEAVY METALS	181
Shlyakhtina E. A. ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER RYE VARIETIES UNDER CONDITIONS OF KIROV REGION	192

УДК 631.314:612  
EDN BMXVNS

Бабицкий Л. Ф.<sup>1</sup>, Соболевский И. В.<sup>2</sup>, Куклин В. А.<sup>1</sup>, Турин Е. Н.<sup>2</sup>  
**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАЯТНИКОВОГО  
УДАРНОГО МЕХАНИЗМА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТЕРНЕВОГО  
КУЛЬТИВАТОРА**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»;

<sup>2</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Борьбу с эрозией почв ведут во всех развитых странах мира, что требует значительных финансовых и трудовых ресурсов и комплексного научно-обоснованного подхода. Около 70 % земельных площадей России находятся в зоне рискованного земледелия. Для южных регионов России с недостаточным среднегодовым количеством осадков характерно использование минимальной технологии *mini-till* для возделывания зерновых культур. Использование активных рабочих органов, оказывающих периодическое ударное и виброударное воздействие на почву, может обеспечить снижение энергоёмкости обработки на 20–30 %. Цель исследований – теоретически обосновать основные конструктивные параметры маятникового ударного механизма рабочих органов стерневого культиватора. При обосновании параметров применяли основные положения теоретической механики, теории колебаний и удара, земледельческой механики. Условия проведения испытаний: тип почвы – чернозем южный карбонатный среднесуглинистый, влажность почвы  $W = 15–19\%$ , твёрдость почвы  $p = 136–211 \text{ Н/см}^2$ , деформационный показатель  $\nu = 1,66 \cdot 10^{-7}–2,61 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{Н}$ . Экспериментальные исследования проводили с применением методики планирования и проведения однофакторного эксперимента. При обработке полученных результатов использовались методы математической статистики. Для предложенной конструкции маятникового ударного механизма, применительно к рабочему органу стерневого культиватора, получены теоретические зависимости по определению рациональных значений длины рычага  $l_{\text{рыч}}$ , массы ударника  $m_{\text{уд}}$  и высоты расположения оси крепления рычага ударника  $l_0$  на стойке рабочего органа. Экспериментальная проверка зависимости величины тягового сопротивления от массы ударника, выполненная в условиях почвенного канала Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в 2021–2022 г., подтвердила полученные теоретические результаты. При массе ударника 5,5 кг и рабочей скорости 9 км/ч наблюдали снижение энергоёмкости на глубинах обработки 6–9 см на 13,3–13,7 %.

**Ключевые слова:** эрозия почвы, стерневой культиватор, маятниковый ударник, тяговое сопротивление.

**Для цитирования:** Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А., Турин Е. Н. Обоснование конструктивных параметров маятникового ударного механизма рабочих органов стерневого культиватора // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 8–16. EDN: BMXVNS.

**For citation:** Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Turin E. N. Justification of design parameters of the pendulum impact mechanism of stubble cultivator working tools // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 8–16. EDN: BMXVNS.

### Введение

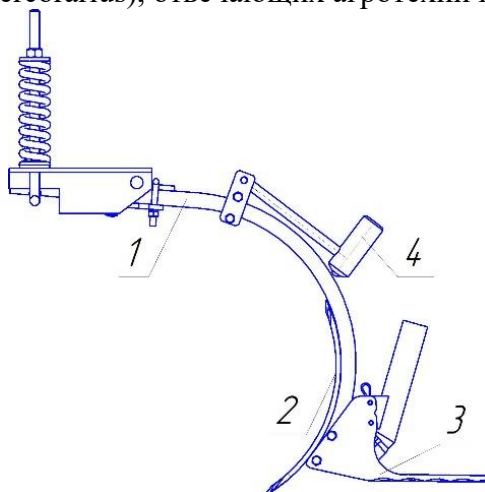
Использование в современном сельском хозяйстве тяжелой техники и интенсификация производства привели к значительному росту механической нагрузки на почву, вызывающей ее чрезмерное уплотнение на значительную глубину, разрушение структуры и распыление почвы. Борьба с эрозией почв ведется во всех развитых странах мира, требует значительных финансовых и трудовых ресурсов и

комплексного научно обоснованного подхода [1, 2]. Изменяющиеся экологические условия, связанные с различными видами эрозии и деградации почв, требуют новых подходов к совершенствованию почвозащитных технологий и удовлетворяющих этим условиям технических средств и устройств для обработки почвы. Около 70 % земельных площадей России находятся в зоне рискованного земледелия [3].

Стратегия развития сельскохозяйственного производства в Российской Федерации должна быть направлена, в первую очередь, на повышение почвенного плодородия с целью обеспечения более высокой урожайности полевых культур и качества получаемой продукции растениеводства. Ежегодное применение плугов, тяжелых культиваторов, а вместе с ними и тяжелых энергонасыщенных тракторов, в сочетании с многократными проходами агрегатов по полю влечет за собой большие затраты на горюче-смазочные материалы, амортизацию техники, а также пагубно действует на почву и окружающую среду. Для южных регионов России с недостаточным среднегодовым количеством осадков характерно использование минимальной технологии mini-till для возделывания зерновых культур. Цикл mini-till предполагает применение глубокой обработки почвы только раз в несколько лет, в остальное время почву обрабатывают культиваторами, ротационными рабочими органами (технология verti-till) и боронами на глубину до 8 см [4–6].

Конструкции большинства существующих почвообрабатывающих рабочих органов не всегда оптимальны, а применяемые ранее теоретические методы и подходы не давали возможность полностью объяснить и учесть все основные явления, которые возникают в почве в процессе механической обработки. При этом особое внимание следует обратить на конструктивные и кинематические характеристики подвижных элементов почвообрабатывающих рабочих органов, оказывающих существенное влияние на процесс ударного и вибрационного разрушения почвы, являющиеся ключом к снижению энергоемкости почвообработки.

В работе [7], на основании механико-бионического подхода, выполнено аналитическое описание, разработаны теоретические предпосылки и проведено бионическое обоснование основных конструктивных параметров рабочих органов стерневого культиватора (рисунок 1), с использованием в качестве прототипов веерной формы челюсти жука-скарабея (*Scarabaeus*) и роющей лапки жука-навозника обыкновенного (*Geotrupes stercorarius*), отвечающих агротехническим требованиям.



**Рисунок 1 – Общий вид рабочего органа культиватора, оснащенного маятниковым ударным механизмом**

*Примечание.* 1 – стойка; 2 – долото; 3 – крылья; 4 – ударник.

Использование активных рабочих органов, оказывающих периодическое ударное и виброударное воздействие на почву, может обеспечить снижение энергоёмкости обработки на 20–30 % [8].

**Цель исследований** – теоретически обосновать основные конструктивные параметры маятникового ударного механизма рабочих органов стерневого культиватора.

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

При обосновании параметров маятникового ударного механизма использовали основные положения теоретической и земледельческой механики, теории колебаний и удара. Экспериментальная проверка полученных результатов выполнена в условиях почвенного канала Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в 2021–2022 гг. Тип почвы – чернозем южный карбонатный среднесуглинистый, влажность изменялась в пределах  $W = 15–19\%$ , твёрдость почвы  $p = 136–211 \text{ Н/см}^2$ , деформационный показатель  $\nu = 1,66 \cdot 10^{-7}–2,61 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{Н}$ . Экспериментальные исследования проводили с применением методики планирования и проведения однофакторного эксперимента [9]. Для измерения величины тягового сопротивления применяли тензостанцию ZET 017-T8 и датчик TS21-T2 с регистрацией результатов на ноутбуке при помощи специализированного программного обеспечения. Опыты проводили в трехкратной повторности с определением среднего значения сопротивления почвы. При обработке полученных результатов использовали методы математической статистики.

#### **Результаты и их обсуждение**

При установившемся режиме работы почвообрабатывающего орудия в обрабатываемом пласте почвы происходит периодическое чередование фаз деформации и разрушения почвы, сопровождающееся соответствующими ростом и снижением величины тягового сопротивления. При введении в систему «рабочий орган – почва» ударного воздействия, как наиболее эффективного способа сообщения дополнительной механической энергии рабочему органу, следует обеспечить необходимую частоту и величину энергии удара.

Предложенный рабочий орган, благодаря наличию упругой стойки и чередования фаз сжатия и скалывания почвы, в процессе обработки совершает периодические колебания продольной плоскости. В фазе сжатия почвы тяговое сопротивление возрастает, и стойка с рабочим органом отклоняется в противоположную к направлению движения сторону, запасая потенциальную энергию, при этом абсолютная скорость носка лапы  $V_{\text{абс}}$  снижается практически до нуля. При последующем воздействии на стойку ударника происходит ударное скалывание почвы. Стойка с рабочим органом начинает отклоняться в направлении его движения и отдает накопленную энергию упругой деформации интенсивно кроша скелотый пласт почвы, при этом ударник движется в противоположную сторону и запасает потенциальную энергию.

Для обоснования основных параметров маятникового ударного механизма воспользуемся расчетной схемой, показанной на рисунке 2.

При использовании ударника маятникового типа частота его свободных колебаний  $n$  будет однозначно определяться длиной рычага  $l_{\text{рыч}}$ :

$$n = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l_{\text{рыч}}}}, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Учитывая, что движение ударника ограничено поверхностью стойки, при контакте с которой происходит упругое соударение, частота ударного воздействия составит  $n_{\text{уд}}=2n$ .

Положительный эффект можно будет наблюдать в случае равенства частоты ударного воздействия  $n_{уд}$  и частоты скалывания почвы  $n_{ск}$ , определяемой по выражению:

$$n_{ск} = \frac{V_p}{l_{ск}} = \frac{V_p}{h_{обр} \cdot tg(\alpha + \varphi)}, \quad (2)$$

где  $V_p$  – рабочая скорость;

$l_{ск}$  – длина участка скалывания почвы [10];

$h_{обр}$  – глубина обработки;

$\alpha$  – угол вхождения лапы в почву;

$\varphi$  – угол трения.

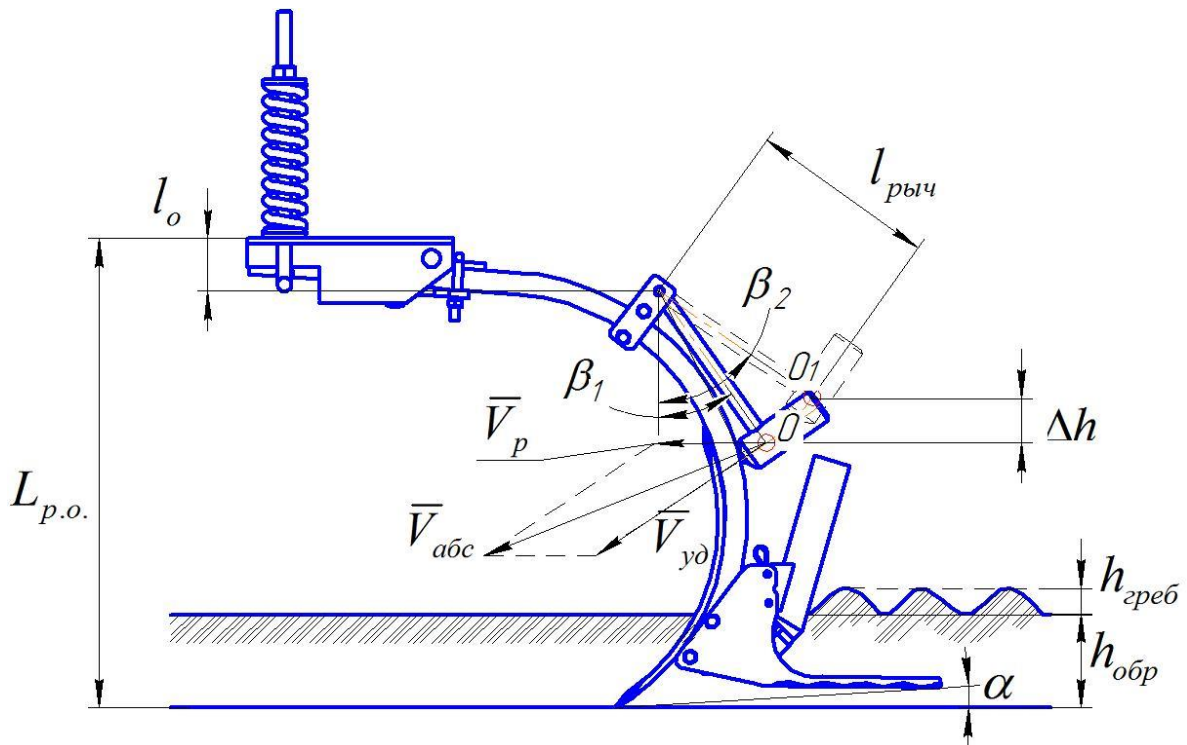


Рисунок 2 – Расчетная схема к обоснованию параметров маятникового ударного механизма

В соответствии с вышеизложенным запишем равенство:

$$\frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{g}{l_{рыч}}} = \frac{V_p}{h_{обр} \cdot tg(\alpha + \varphi)}. \quad (3)$$

Из него выразим рациональное значение длины рычага ударника  $l_{рыч}$ :

$$l = \frac{h_{обр}^2 \cdot tg^2(\alpha + \varphi)}{\pi^2 \cdot V_p^2 \cdot g}. \quad (4)$$

В соответствии с расчетной схемой на рисунке 2 запишем выражение для определения высоты подъема молотка  $\Delta h$ :

$$\Delta h = l_{рыч} \cdot (\cos \beta_1 - \cos \beta_2). \quad (5)$$

где  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – углы отклонения рычага от вертикали в нижнем и верхнем положениях соответственно.

Приравнивая выражения для потенциальной и кинетической энергий для положений молотка в верхнем и нижнем положениях, определим скорость удара  $V_{y\partial}$ , развиваемую при движении ударника под действием силы тяжести [11]:

$$mg\Delta h = \frac{mV_{y\partial}^2}{2},$$

где  $m_{y\partial}$  – масса ударника;

$g$  – ускорение свободного падения.

Откуда:

$$V_{y\partial} = \sqrt{2g\Delta h}. \quad (6)$$

В нашем случае, при равенстве частот колебаний стойки под действием переменной силы сопротивления почвы и колебаний маятникового ударника в конце фазы сжатия почвы будет возникать эффект снижения фактической скорости рабочего органа в почве практически до нуля и отклонение упругой стойки с накоплением потенциальной энергии. При достаточно высоком положении оси крепления рычага ударника величиной отклонения в данной точке можно пренебречь. В этом случае, в системе отсчета, связанной с землей, абсолютная скорость ударника будет равна векторной сумме:

$$\bar{V}_{abc} = \bar{V}_p + \bar{V}_{y\partial}.$$

Модуль абсолютной скорости:

$$V_{abc} = \sqrt{V_p^2 + V_{y\partial}^2 + 2V_p \cdot V_{y\partial} \cdot \cos \beta_1}. \quad (7)$$

Для достижения эффекта ударного разрушения почвы энергия  $E_{y\partial}$ , сообщаемая ударным механизмом рабочему органу, должна быть сопоставима с энергией  $E_{раз}$ , затрачиваемой на разрушения почвы на длине участка скалывания  $l_{ск}$ .

Энергия, развиваемая ударником:

$$E_{y\partial} = \frac{m_{y\partial} \cdot V_{abc}^2}{2} = \frac{m_{y\partial} \cdot (V_p^2 + V_{y\partial}^2 + 2V_p \cdot V_{y\partial} \cdot \cos \beta_1)}{2}. \quad (8)$$

В первом приближении, энергия разрушения деформированного блока почвы в конце фазы сжатия равна:

$$E_{раз} = F_c \cdot \frac{l_{ск}}{2} = k_{y\partial} \cdot b \cdot h_{обр} \cdot \frac{h_{обр} \cdot tg(\alpha + \varphi)}{2} = \frac{k_{y\partial} \cdot b \cdot h^2_{обр} \cdot tg(\alpha + \varphi)}{2}, \quad (9)$$

где  $F_c$  – сила сопротивления почвы;

$l_{ск}$  – длина участка скалывания почвы;

$k_{y\partial}$  – удельное сопротивление почвы;

$b$  – ширина захвата рабочего органа стерневого культиватора.

Приравнивая выражения (8) и (9), получим:

$$\frac{m_{y\partial} \cdot (V_p^2 + V_{y\partial}^2 + 2V_p \cdot V_{y\partial} \cdot \cos \beta_1)}{2} = \frac{k_{y\partial} \cdot b \cdot h^2_{обр} \cdot tg(\alpha + \varphi)}{2}. \quad (10)$$

Выполнив преобразования, определим рациональное значение массы ударника:

$$m_{y\partial} = \frac{k_{y\partial} \cdot b \cdot h^2_{обр} \cdot tg(\alpha + \varphi)}{V_p^2 + 2g \cdot l_{рыч} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) + 2V_p \sqrt{2g \cdot l_{рыч} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)} \cdot \cos \beta_1}. \quad (11)$$

Для обеспечения максимального положительного эффекта направление вектора абсолютной скорости в момент удара должно совпадать с касательной  $x_1-x_2$ , проходящей через носок рабочего органа.

Графическая зависимость рациональной массы ударника  $m_{уд}$  при различных рабочих скоростях  $V_p$  и глубинах обработки  $h_{обр}$ , согласно формулы (11), при следующих значениях величин  $k_{уд} = 28,2 \text{ кН/м}^2$ ,  $b = 0,43 \text{ м}$ ,  $\alpha = 4^\circ$ ,  $\beta_1 = 20^\circ$ ,  $\beta_2 = 70^\circ$ ,  $l_{рыч} = 0,3 \text{ м}$ , приведена на рисунке 3.

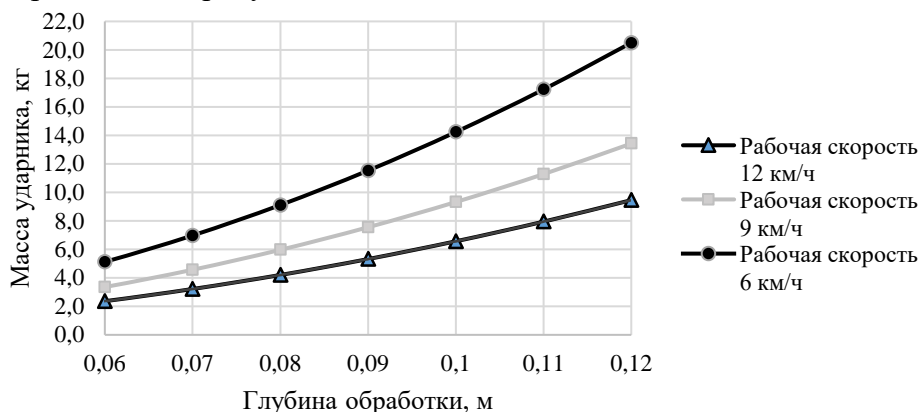


Рисунок 3 – Теоретическая зависимость массы ударника от глубины обработки

Результаты свидетельствуют, что при допустимой предельной массе ударника 8 кг рекомендуемая глубина обработки не должна превышать 7,5 см при рабочей скорости 6 км/ч и 11 см – при 12 км/ч.

Положение оси крепления рычага ударника определим в соответствии с расчетной схемой:

$$l_o = L_{p.o.} - h_{обр} - h_{греб} - l_{рыч} \cdot \cos \alpha, \quad (12)$$

где  $L_{p.o.}$  – высота рабочего органа;

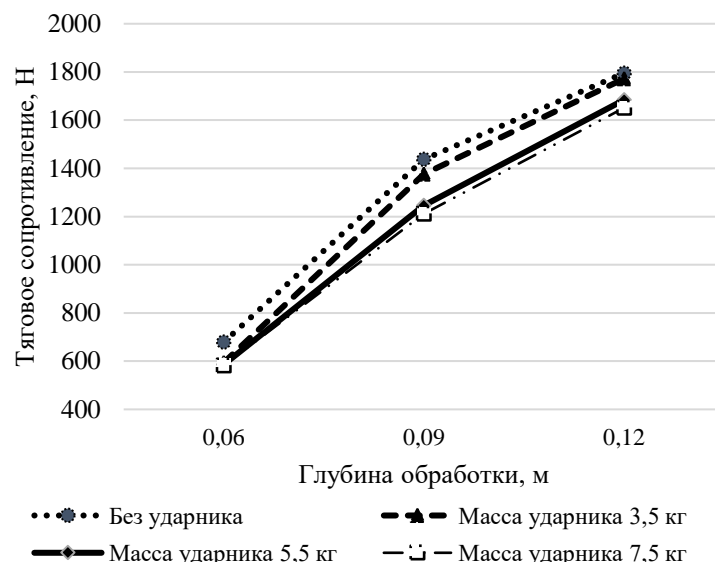
$h_{греб}$  – высота гребней после прохода рабочего органа.

Результаты экспериментальных исследований рабочего органа стерневого культиватора на скорости 9 км/ч с маятниковыми ударниками массой 3,5; 5,5 и 7,5 кг представлены на рисунках 4, 5.

Видно, что при использовании маятникового ударника массой 3,5 кг, на минимальной глубине обработки 5 см, снижение энергоемкости составляет 12,5% в сравнении с вариантом без ударника благодаря реализации эффекта ударного разрушения почвы. По мере роста глубины обработки до 9 см данной массы уже недостаточно и эффективность снижается до 4,2 %. Увеличение массы ударника до 5,5 кг обеспечивает снижение энергоемкости на глубинах 6–9 см на 13,3–13,7%, что согласуется с полученными нами теоретическими результатами (см. рисунок 3).



Рисунок 4 – Рабочий орган культиватора



**Рисунок 5 – Экспериментальная зависимость тягового сопротивления исследуемого рабочего органа от глубины обработки**

Дальнейший рост массы ударника до 7,5 кг существенного прироста энергоэффективности обработки почвы не дает, при этом возможен эффект повышения степени крошения почвы, который нуждается в дополнительном изучении.

#### Выводы

Для предложенной конструкции маятникового ударного механизма, применительно к рабочему органу стерневого культиватора, получены теоретические зависимости по определению рациональных значений длины рычага  $l_{\text{рыч}}$ , массы ударника  $m_{\text{уд}}$  и высоты расположения оси крепления рычага ударника  $l_0$  на стойке рабочего органа.

Теоретический анализ показал, что с ростом глубины обработки и снижением рабочих скоростей рациональная масса ударника возрастает до недопустимых значений. При ограничении по массе ударника до 8 кг, рекомендуемая глубина обработки не должна превышать соответственно 7,5 см при рабочей скорости 6 км/ч и 11 см при работе на скорости 12 км/ч.

Экспериментальная проверка зависимости величины тягового сопротивления от массы ударника при постоянной рабочей скорости 9 км/ч подтвердила полученные теоретические результаты. При массе ударника 5,5 кг происходит снижение энергоемкости на глубинах обработки 6–9 см на 13,3–13,7%.

#### Литература

1. Panagos P., Imeson A., Meusburger K., Borrelli P., Poesen J., Alewell C. Soil conservation in Europe: wish or reality? // *Land Degrad. Develop.* 2016. Vol. 27. P. 1547–1551. DOI: 10.1002/ldr.2538.
2. Duniway M. C., Pfennigwerth A. A., Fick S. E., Nauman T. W., Belnap J., Barger N. N. Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world // *Ecosphere*. 2019. Vol. 10(3). Art. No. e02650. DOI: 10.1002/ecs2.2650.
3. Сухомлинова Н. Б., Чешев А. С. Эколого-мелиоративные мероприятия в районах с развитой эрозией почв // *Экономика и экология территориальных образований*. 2019. Т. 3. № 1. С. 35–45. DOI: 10.23947/2413-1474-2019-3-1-35-45.
4. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов стерневого культиватора // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. Т. 20. № 2. С. 183–191. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.183-191.
5. Chen Y., Damphousse S., Li H. Vertical tillage and vertical seeding // *CSBE/SCGAB 2016 Annual*



Conference. Canada: Halifax, NS, 2016 Paper CSBE16-090.

6. Smith D. R., Warnemuende-Pappas E. A. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations // Soil Tillage Res. 2015. Vol. 153. P. 155–160. DOI: 10.1016/j.still.2015.04.004.

7. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021). Tashkent, 2021. Vol. 868. Iss. 1. Art. No. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012007.

8. Верняев О. В. Активные рабочие органы культиваторов. М.: Машиностроение, 1983. 79 с.

9. Винарский М. С. Лурье М. В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. К.: Техника, 1975. 166 с.

10. Дубровский А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве. М.: Машиностроение, 1968. 126 с.

11. Полищук Д. Ф., Десятериков С. А. Прикладные теории удара. Удар в пружинных механизмах. М.: Институт компьютерных исследований, 2006. 124 с.

## References

1. Panagos P., Imeson, A., Meusburger K., Borrelli P., Poesen J., Alewell C. Soil conservation in Europe: wish or reality? // Land Degrad. Develop. 2016. Vol. 27. P. 1547–1551. DOI: 10.1002/ldr.2538.

2. Duniway M. C., Pfennigwerth A. A., Fick S. E., Nauman T. W., Belnap J., Barger N. N. Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world // Ecosphere. 2019. Vol. 10(3). Art. No. e02650. DOI: 10.1002/ecs2.2650.

3. Sukhomlinova N. B., Cheshev A. S. Ecological-reclamation activities in the areas of soil erosion // Economy and Ecology of Territorial Formations. 2019. Vol. 3. No. 1. P. 35–45. DOI: 10.23947/2413-1474-2019-3-1-35-45.

4. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Theoretical background for the bionic substantiation of parameters of the stubble cultivator working bodies // Agrarian Science Euro-North-East. 2019. Vol. 20. No. 2. P. 183–191. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.183-191.

5. Chen Y., Damphousse S., Li H. Vertical tillage and vertical seeding // CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference. Canada: Halifax, NS, 2016 Paper CSBE16-090.

6. Smith D. R., Warnemuende-Pappas E. A. Vertical tillage impacts on water quality derived from rainfall simulations // Soil Tillage Res. 2015. Vol. 153. P. 155–160. DOI: 10.1016/j.still.2015.04.004.

7. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Methodology for designing tillage working bodies of a stubble cultivator-flat-cutter based on agricultural biomechanics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021). Tashkent, 2021. Vol. 868. Iss. 1. Art. No. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/868/1/012007.

8. Верняев О. В. Active working bodies of cultivators. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 79 p.

9. Vinarsky M. S., Lurye M. V. Experiment planning in technological research. Kiev: Tekhnika, 1975. 166 p.

10. Dubrovsky A. A. Vibration technique in agriculture. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 126 p.

11. Polishchuk D. F., Devyaterikov S. A. Applied theories of impact. Impact in spring mechanisms. Moscow: Institute of Computer Research, 2006. 124 p.

UDC 631.314:612

Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Turin E. N.

## JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF THE PENDULUM IMPACT MECHANISM OF STUBBLE CULTIVATOR WORKING TOOLS

**Summary.** Soil erosion control is carried out in all developed countries of the world and requires significant financial and labor resources, as well as comprehensive science-based approach. About 70 % of the land area in Russia are in the zone of risky farming. For the southern regions of Russia, which are characterized by insufficient average annual precipitation, the use of minimal (mini-till) technology for the grain crops cultivation is typical. The use of active working bodies providing periodic percussive and vibration impact on the soil can reduce energy intensity of cultivation by 20–30 %. The aim of the research was to theoretically substantiate the main design parameters of the pendulum impact mechanism of the stubble cultivator working tools. When substantiating the parameters, the main provisions of theoretical mechanics, the theory of vibrations and impact, and agricultural mechanics were used. Test conditions: soil type – chernozem southern calcareous medium loamy; soil moisture  $W = 15–19\%$ ; soil hardness  $p = 136–211\text{ N/cm}^2$ ; deformation index  $\nu = 1.66 \cdot 10^{-7}–2.61 \cdot 10^{-7}\text{ m}^2/\text{N}$ . Experimental studies were

carried out using the methodology of planning and conducting one-factor experiment. When processing the obtained results, methods of mathematical statistics were used. Theoretical dependencies for definition of rational values of the striker arm length ( $l_{р\text{ыч}}$ ), striker mass  $m_{\text{уд}}$  and height of the striker arm mounting axis location ( $l_0$ ) on the working device leg were obtained for the proposed design of the pendulum striker mechanism with reference to the working device of the stubble cultivator. Experimental verification of dependence of traction resistance value on the striker mass performed in the conditions of soil channel of the Institute “Agrotechnology Academy” – structural unit of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University in 2021–2022 confirmed the obtained theoretical results. With the weight of the striker of 5.5 kg and working speed of 9 km/h, the reduction of power consumption at the depths of 6–9 cm by 13.3–13.7 % was observed.

**Keywords:** soil erosion, stubble cultivator, pendulum striker, traction resistance.

Бабицкий Леонид Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»; 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4; e-mail: kaf-meh@rambler.ru.

Соболевский Иван Витальевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела механизации производства и разработки новых образцов техники, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail sobolevskii-ivan@mail.ru.

Куклин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»; 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Турин Евгений Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: turin\_e@niishk.ru.

Babitsky Leonid Fedorovich, Dr. Sc. (Techn.), Professor of the Department of technical systems in agribusiness, V. I. Vernadsky Crimean Federal University; 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia; e-mail: kaf-meh@rambler.ru.

Sobolevsky Ivan Vitalievich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor, senior researcher of the Department of mechanization of production and development of new types of equipment, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail: sobolevskii-ivan@mail.ru.

Kuklin Vladimir Alekseevich, Cand. Sc. (Techn.), associate professor of the Department of technical systems in agribusiness, V. I. Vernadsky Crimean Federal University; 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia; e-mail: kuklin-va@mail.ru.

Turin Evgeniy Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295043, Russia; e-mail turin\_e@niishk.ru.

Дата поступления в редакцию – 17.02.2022.

Дата принятия к печати – 10.03.2022.

УДК 633.11:551.5  
EDN ECLWUU

Гулянов Ю. А.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ОЗИМОЙ РЖИ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

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

**Реферат.** Оценка современного состояния производства озимой ржи необходима для определения перспективных направлений обеспечения продовольственной безопасности без ущерба окружающей среде. Цель исследований – анализ многолетних тенденций в изменении валовых сборов озимой ржи и определение перспективных направлений стабилизации зернового производства. Исследования проводили в Оренбургской области с 2008 по 2019 гг. Выявление направленности и размеров изменений структурных элементов проводили по природно-сельскохозяйственным провинциям в соответствии с агроэкологической группировкой земель. При обработке цифрового материала использовали общепринятые методы статистического анализа. Выявлена высокая временная и пространственная вариабельность валовых сборов. В большей степени ( $r = 0,98$ ) они зависят от урожаев в Заволжской степной провинции, детерминирующих до 96,0 % изменений общего урожая. С валовыми сборами в Заволжской сухостепной ( $r = 0,84$ ) и Предуральской лесостепной ( $r = 0,75$ ) провинциях связь также сильная, а в Казахстанских степной и сухостепной – слабая ( $r = 0,27-0,22$ ). При устойчивом росте валовых сборов в Заволжских степной (на 26,8 тыс. т) и сухостепной (на 4,4 тыс. т) провинциях (2008–2019 гг.) их значительное сокращение в Предуральской лесостепной провинции (более чем на 46,0 тыс. т) привело к общему отрицательному балансу. Наибольшей средней урожайностью с посевной площади характеризовалась Предуральская лесостепная провинция (1,48 т/га). В других территориях урожайность меньше на 0,17–1,15 т/га, с устойчивым понижением в юго-восточном направлении. Современной особенностью выращивания озимой ржи в регионе является устойчивое уменьшение её посевных площадей (на 10411 га), в основном благодаря сокращению посевного клина в Предуральской лесостепной провинции (более 40,0 %). Основными предпосылками отрицательной динамики посевных площадей в условиях не самых жёстких климатических изменений выступают социально-экономические причины. Перспективным направлением стабилизации и увеличения валовых сборов озимой ржи в регионе может стать северо-западная ориентация посевных площадей с преимущественной концентрацией в Предуральской лесостепной и Заволжской степной провинциях при внедрении адаптивно-ландшафтных систем земледелия на устойчивых ненарушенных почвах.

**Ключевые слова:** Оренбургская область, природно-сельскохозяйственные провинции, *Secale cereale* L., озимая рожь, валовой сбор, климатические изменения, адаптивно-ландшафтные системы земледелия.

**Для цитирования:** Гулянов Ю. А. Современное состояние и перспективы производства озимой ржи в Оренбургской области // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 17–29. EDN: ECLWUU.

**For citation:** Gulyanov Yu. A. Current state and prospects of winter rye production in the Orenburg region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 17–29. EDN: ECLWUU.

## Введение

Рожь является одним из важнейших хлебных злаков, сыгравших весомую роль в становлении человечества. На протяжении многих столетий продукты из ржаной муки были основой пищевого рациона населения многих стран мира [1, 2]. Несмотря на ощутимое сокращение объёмов производства озимой ржи в XX веке, она по-прежнему остаётся основой здорового питания благодаря широкому микроэлементному (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn и др.) и витаминному составу (B1, B2, B4, B5, B6), антиоксидантным свойствам (витамин E), способности нормализовать свёртываемость крови (витамин K) и улучшать её микроциркуляцию (витамин PP) [3–5].

Широко известны физиологические преимущества озимой ржи по сравнению с другими хлебными злаками, заключающиеся в общей нетребовательности к внешним условиям (низкая восприимчивость к болезням, эффективное подавление сорняков, высокая морозостойкость) [6, 7] и высокой фотосинтетической производительности (развитие мощного ассимиляционного аппарата, ярко зелёная окраска) [8].

И Древняя Русь (примерно с XI века), и современная Россия считаются основными потребителями ржаных хлебных продуктов, представленных десятками наименований [9]. Больше чем в России зерна озимой ржи сегодня выращивают только в Германии (около 3,0 млн т) и в отдельные годы в Польше (2,5–2,7 млн т). Весомые урожаи озимой ржи получают в Белоруссии, Дании, Китае (около 0,5 млн т), а также Украине, Канаде, США, Испании и Турции (0,3–0,4 млн т) [10, 11].

Производство зерна озимой ржи в России (2008–2020 гг.) составляет около 2,5 млн т в год. По итогам 2020 г. из полученных 2375 тыс. т более 1734 тыс. т (73,0 %) собрано в Приволжском ФО. Безусловные лидеры – Республика Башкортостан и Татарстан, а также Оренбургская область. Их вклад в общий урожай озимой ржи России составил 401, 348 и 381 тыс. т или 16,9–14,7–16,0 % соответственно. В Центральном ФО (283 тыс. т) весомый (на уровне 112 тыс. т) урожай получили в Брянской области, что составило почти 40,0 % регионального урожая. В Южном ФО, с вкладом в общий валовой сбор около 5,0 % (116 тыс. т), почти весь урожай (110 тыс. т) поступил с Волгоградских полей [12].

В Уральском ФО около 3,0 % российского урожая (67 тыс. т) вырастили в Курганской области (56 тыс. т), а в Сибирском ФО, поставившем чуть более 7,0 % зерна озимой ржи в российские закрома (170 тыс. т), лидирующие позиции заняли Алтайский (56 тыс. т) и Красноярский (38 тыс. т) края. В Северо-Западном, Северо-Кавказском и Дальневосточном ФО озимую рожь возделывают на незначительных площадях, вклад которых в общий урожай не превышает 0,1 % [12].

В Оренбургской области озимая рожь является второй по значимости зерновой продовольственной культурой, после озимой и яровой пшеницы [13]. Её ежегодный валовой сбор составил в среднем 257 тыс. т или 10,1 % от суммарного урожая зерновых и зернобобовых культур (2008–2020 гг.). Вместе с озимой пшеницей их участие в областном сборе зерна достигало 770 тыс. т или 30,1 % [12].

Как показывает корреляционный анализ статистических данных, валовые сборы зерновых и зернобобовых культур в регионе существенно зависят от урожаев обеих культур, с близким коэффициентом корреляции ( $r$ ) 0,50 (озимая рожь) – 0,52 (озимая пшеница). При этом урожаи озимых культур в целом сильнее связаны с валовыми сборами озимой пшеницы ( $r = 0,97$ ), хотя и с валовыми сборами озимой ржи связь сильная ( $r = 0,75$ ).

Следует отметить, что валовые сборы озимой ржи характеризуются большей временной стабильностью, с меньшим коэффициентом вариации. Его величина в среднем за истекшие 13 лет составила 48,7 %, что на 21,9 п.п. (процентных пункта) ниже, чем по озимой пшенице и на 9,0 п.п. – по озимым в целом.

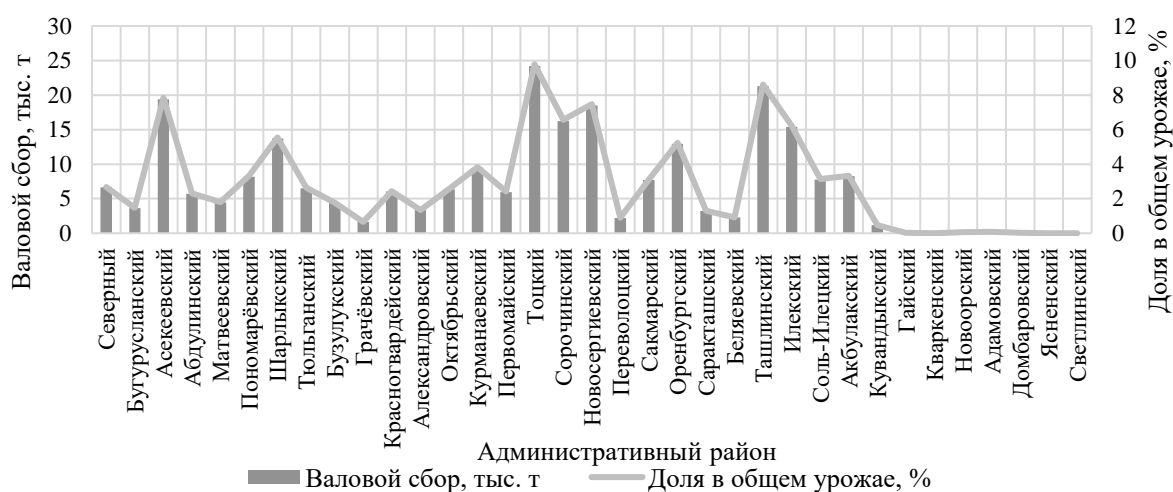
Динамика валовых сборов озимой пшеницы и озимой ржи по годам характеризуется заметными различиями, их связь средняя, с коэффициентом корреляции 0,57. Это указывает на наличие у данных культур родовых биологических особенностей, по-разному проявляющихся в реализации биологического потенциала продуктивности в условиях изменяющегося климата и высокого антропогенного прессинга. Свидетельством тому является урожайность озимой пшеницы (1,68 т/га), на 0,27 т/га превысившая урожайность озимой ржи (1,42 т/га).

Как и в случае с валовыми сборами, урожайность озимой ржи характеризуется большей временной стабильностью. Коэффициент вариации за анализируемый период (2008–2020 гг.) составил 26,4 %, что на 7,9 п.п. меньше, чем у озимой пшеницы. В дополнение к этому следует отметить более высокую урожайность озимой ржи относительно яровых зерновых культур, и прежде всего яровой пшеницы (0,90 т/га).

Примечательно, что более высокая реализация биологической продуктивности озимых культур по сравнению с яровыми является характерной для Оренбуржья [14].

На наш взгляд, указанные преимущества озимой ржи следует рассматривать как важный фактор стабилизации производства продовольственного зерна в Оренбуржье и посыл к тщательному пересмотру излишне «закоммерциализованной» структуры посевных площадей, перенасыщенной масличными (подсолнечник) культурами. Не менее актуальным представляется и научное обоснование пространственного распределения посевов озимой ржи по природно-климатическим зонам (природно-сельскохозяйственным провинциям) в условиях современных климатических и антропогенных изменений [15]. Адаптация производства озимой ржи к перечисленным факторам при сложившихся социально-экономических преобразованиях аграрного сектора может способствовать гарантированной продовольственной безопасности России без чрезмерной нагрузки на степные ландшафты, стать основой сохранения и воспроизводства биологического разнообразия.

Анализ итогов деятельности отрасли растениеводства Оренбургской области за 2008–2019 гг. при сложившихся подходах к организации производства и технологии возделывания озимой ржи свидетельствует о значительной вариабельности валовых сборов по годам, природно-климатическим зонам и даже отдельным административным районам внутри этих зон (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Пространственная динамика валовых сборов зерна озимой ржи по административным районам Оренбургской области, среднее за 2008–2019 гг.**

При среднем урожае в 247 тыс. т за указанный период размах его вариации оказался равен 344 тыс. т – от 118 тыс. т в 2011 г. до 462 тыс. т в 2014 г., с коэффициентом вариации 52,2 %.

Наибольший урожай в региональный фонд поступил с полей Тоцкого (24191 т), Ташлинского (21297 т), Асекеевского (19383 т), Новосергиевского (18499 т) и Сорочинского районов (16248 т). Из 35 муниципальных образований, в разной степени вовлечённых в выращивание озимой ржи, суммарное участие данных районов составило более 40,0 % (9,78–8,61–7,84–7,48 и 6,57 % соответственно). Значительно меньшие урожаи, на уровне 1,0–1,5% от областного, получили в Бугурусланском, Грачёвском, Александровском, Переволоцком, Саракташском и Баляевском районах. В восточных районах области, представляющих Оренбургское Зауралье, возделывание озимой ржи носило эпизодический характер и на областной урожай существенного влияния, как правило, не оказывало.

Вполне очевидно, что высокая пространственная и временная вариабельность валовых сборов выступает вполне осязаемым фактором нестабильности зернового производства, значительно подрывает материальную состоятельность сельхоз товаропроизводителей, представляет определённые риски продовольственной безопасности населения.

**Цель исследований** – анализ многолетних тенденций в изменении валовых сборов озимой ржи и определение перспективных направлений стабилизации зернового производства по сельскохозяйственным провинциям Оренбургской области.

Для выполнения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- оценить уровень и состояние современного производства зерна озимой ржи в регионе, определить вклад в областной урожай приуроченных к различным природно-сельскохозяйственным провинциям территорий (муниципальных образований);
- выявить направление и размер изменения валовых сборов (тренд), пространственную динамику урожайности и определить связь структурных элементов урожая (с 2008 по 2019 гг.);
- проанализировать пространственную и временную динамику посевных площадей, сохранность посевов к уборке и определить их связь с современными климатическими тенденциями;
- выявить приоритеты эффективного пространственного распределения посевов озимой ржи по природно-климатическим зонам (природно-сельскохозяйственным провинциям) региона, приближенные к оптимальному взаимодействию современных природных и социально-экономических систем.

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

Объектом исследований выступали сведения о площадях посева, уборки, урожайности и валовых сборах зерна озимой ржи в муниципальных образованиях Оренбургской области за 2008–2019 гг., представленные в Единой информационно-статистической системе РФ (ЕМИСС) [12]. В качестве источника данных использовали также материалы экспедиционных и полевых исследований.

Группировку административных районов по природным зонам (лесостепная, степная и сухостепная) и природно-сельскохозяйственным провинциям (Предуральская лесостепная, Заволжская степная, Казахстанская степная, Заволжская сухостепная и Казахстанская сухостепная) осуществляли на основе природно-сельскохозяйственного районирования Оренбургской области [16].

Предуральская лесостепная провинция, включающая северо-западные территории области, характеризуется возвышенно-волнистым рельефом с преобладанием чернозёмов выщелоченных и типичных. Равнинно-увалистая Заволжская степная провинция, самая обширная по площади, занимает практически

всю расположенную южнее Предуральской лесостепной провинции территорию Оренбургского Предуралья, за исключением самых южных, граничащих с Республикой Казахстан, окраин Ташлинского, Илекского, Соль-Илецкого и Акбулакского районов, входящих в Заволжскую сухостепную провинцию. Примерно по линии Оренбург-Бузулук или рекам Урал (от Беляевки до Оренбурга) и Самара (от Переволоцка до западных границ области) Заволжская степная провинция в зависимости от типа слагающих её почв делится на две практически равные части – северную, с чернозёмами обыкновенными, и южную, с чернозёмами южными. Отличительной чертой Заволжской сухостепной провинции является равнинно-волнистый и возвышенно-увалистый волнистый рельеф, преимущественно с суглинистыми тёмно-каштановыми и солонцевато-каштановыми (пойменными) почвами. Казахская степная провинция, охватывающая северную часть Оренбургского Зауралья, характеризуется возвышенно-волнисто-увалистым рельефом с преобладанием суглинистых почв – чернозёмов южных и обыкновенных. Отличительной чертой Казахстанской сухостепной провинции, приуроченной к южной части Зауралья, является волнисто-увалистый рельеф с чередованием суглинков, супесей и песков и преобладанием тёмнокаштановых и каштаново-солонцовых почв [17, 18].

Метеорологические условия анализируемого периода оценивали на основе специализированных массивов для климатических исследований Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [19].

Территория области значительно различается по обеспеченности ресурсами тепла и влаги. Теплообеспеченность как правило не лимитирует реализацию биологической продуктивности сельскохозяйственных культур во всех природных зонах, в отличие от влагообеспеченности, существенно снижающей урожай, особенно на юге и востоке области [20]. Характерной чертой современного климата Оренбуржья является устойчивая тенденция повышения засушливости климата благодаря росту сумм активных температур и снижения количества атмосферных осадков, приводящие к значительному снижению благоприятности климата для сельскохозяйственного производства.

При обработке цифрового материала применяли общепринятые методы статистического анализа [21].

### **Результаты и их обсуждение**

В результате проведённого анализа пространственной динамики валовых сборов зерна озимой ржи выявлена неравная зависимость общеобластных сборов от вкладов территорий её возделывания, приуроченных к различным природно-сельскохозяйственным провинциям (таблица 1).

Высокой оказалась и временная динамика, особенно в Казахстанских сухой и сухостепной провинциях, где коэффициент вариации превышал 100 %. В Предуральской лесостепной, Заволжской степной и Заволжской сухостепной провинциях, при достаточно высоком размахе вариации в 94230–253587–27067 т соответственно, коэффициент вариации оказался значительно ниже, на уровне 49,1–61,4 %.

Наибольшие урожаи, составившие в среднем за 2008–2019 гг. около 170 тыс. т в год, отмечены в Заволжской степной провинции, а наименьшие (65 и 1628 т) – в Казахстанских сухостепной и степной провинциях.

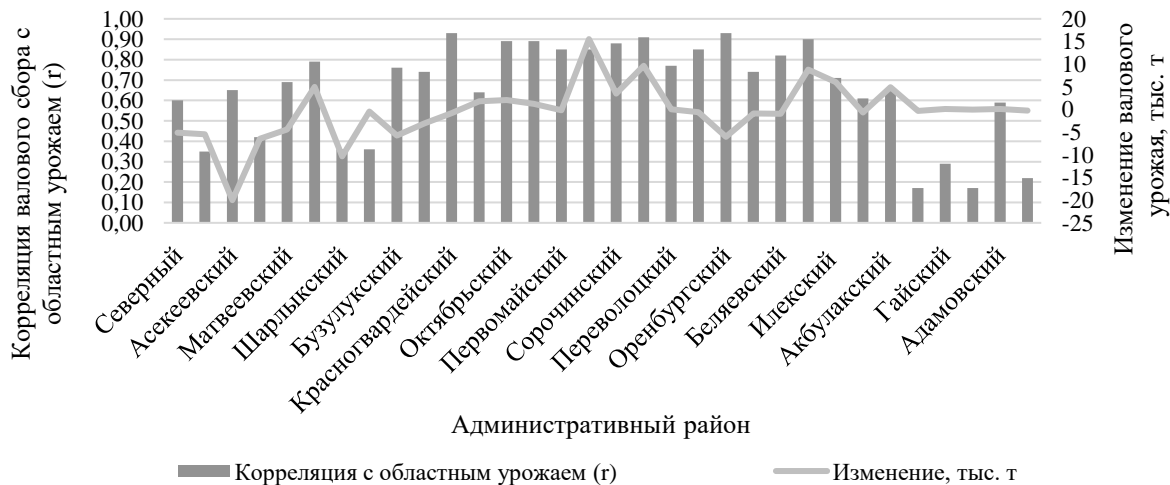
Суммарный областной урожай в большей степени ( $r = 0,98$ ) зависел от валовых сборов в Заволжской степной провинции, где их вариация детерминировала 96,0 % изменений общего урожая.

**Таблица 1 – Урожай зерна озимой ржи по природно-сельскохозяйственным провинциям Оренбургской области (среднее за 2008–2019 гг.)**

Природно-сельскохозяйственная провинция	Валовой сбор, т			Коэффициент вариации, %	Корреляция с областным урожаем (r)
	средний	максимальный / год	минимальный / год		
Предуральская лесостепная	63942	$\frac{124532}{2009}$	$\frac{30302}{2019}$	49,1	0,75
Заволжская степная	168359	$\frac{322258}{2014}$	$\frac{68671}{2011}$	56,3	0,98
Казахстанская степная	1628	$\frac{8800}{2013}$	$\frac{74}{2011}$	150,8	0,27
Заволжская сухостепная	13173	$\frac{31287}{2017}$	$\frac{4220}{2015}$	61,4	0,84
Казахстанская сухостепная	65	$\frac{302}{2009}$	$\frac{0}{2019}$	159,9	0,22
В целом по области	247167	$\frac{462052}{2014}$	$\frac{117582}{2011}$	52,2	

Областной урожай оказался сильно связанным и с валовыми сборами в Заволжской сухостепной ( $r = 0,84$ ) и Предуральской лесостепной провинциях ( $r = 0,75$ ), а с урожаями Казахских степной и особенно сухостепной провинций связь оказалась слабой ( $r = 0,27-0,22$ ).

В разрезе административных районов Оренбургской области выявлена наиболее сильная связь областных урожаев ( $r = 0,90-0,93$ ) с урожаями Красногвардейского, Октябрьского, Курманаевского, Новосергиевского и Ташлинского районов и самая слабая ( $r = 0,17-0,22$ ) – с валовыми сборами Кувандыкского, Новоорского и Домбаровского районов (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Корреляция валового урожая административных районов с областным урожаем и изменение их валового урожая (среднее за 2008–2019 гг.)**

Следует отметить, что за анализируемый период времени выявлены устойчивые и разнонаправленные тренды валовых сборов озимой ржи, как по природно-сельскохозяйственным провинциям, так и в разрезе отдельных административных районов. В целом по области отмечено уменьшение валовых сборов, составившее 12242 т, а наибольшее их «западение», составившее 46794 т, наблюдали в Предуральской лесостепной провинции. Напротив, устойчивый рост валовых сборов отмечен в Заволжских сухостепной (4848 т) и степной (29678 т)



провинциях. В Казахстанских степной и сухостепной провинциях сложился их практически нулевой баланс.

Уменьшением валовых сборов характеризовались почти все административные районы, представляющие Предуральскую лесостепную провинцию, за исключением лишь Пономарёвского, где наблюдался рост на 4987 т. Наибольшее снижение (19990 т), составившее более 40,0 % от суммарной по провинции, отмечено в Асекеевском районе. На 10320 т уменьшилось производство озимой ржи в Шарлыкском районе, а в Северном, Бугурусланском и Абдулинском районах снижение превысило 5,0 тыс. т в каждом.

Наиболее ощутимое снижение валовых сборов в Заволжской степной провинции наблюдали в Бузулукском (на 5730 т), Грачёвском (на 3030 т) и Оренбургском (на 6020 т) районах, а наибольший прирост производства отмечен в Тоцком (на 15530 т), Новосергиевском (на 9630 т) и Сорочинском (на 3520 т) районах. В Ташлинском, Илекском, Акбулакском и Соль-Илецком районах, на три четверти представляющих Заволжскую степную провинцию и на одну четверть Заволжскую сухостепную, также отмечена временная динамика валовых сборов. Причём в первых трёх наблюдали рост (на 8820, 6060 и 4938 т), а в Соль-Илецком районе снижение – на 650 т. В Казахстанских степной и сухостепной провинциях, при незначительных объёмах производства озимой ржи, менее выразительными оказались и изменения – в Гайском, Адамовском и Новоорском районах отмечен некоторый рост (на 86–364 т), а в Домбаровском и Кувандыкском – снижение – (на 221–293 т).

Представляет определённый интерес анализ структурных элементов валовых сборов зерна озимой ржи по природно-сельскохозяйственным провинциям (таблица 2).

**Таблица 2 – Урожайность озимой ржи и корреляция пространственных характеристик её посевов с валовым сбором зерна (средние за 2008–2019 гг.)**

Природно-сельскохозяйственная провинция	Средняя урожайность, т/га		Коэффициент корреляции (r)		
	с посевной площади	с уборочной площади	площади посева и уборки	площади посева и валового сбора	площади уборки и валового сбора
Предуральская лесостепная	1,48	1,53	0,97	0,78	0,90
Заволжская степная	1,31	1,40	0,92	0,78	0,90
Казахстанская степная	1,07	1,56	0,87	0,43	0,65
Заволжская сухостепная	1,12	1,26	0,80	0,63	0,84
Казахстанская сухостепная	0,33	0,67	0,62	0,61	0,98
В целом по области	1,34	1,43	0,91	0,75	0,91

В различных природных зонах наблюдали разную урожайность озимой ржи, что в совокупности с отличающимися площадями посева и привело к пространственной динамике валовых сборов. При невысокой в целом по российским меркам урожайности, характерной для засушливого Оренбуржья, наибольшая средняя её величина с посевной площади, превысившая среднюю по области (1,34 т/га), отмечена в Предуральской лесостепной провинции (1,48 т/га). В других провинциях урожайность оказалась ниже на 0,17–1,15 т/га, причём в её снижении выявлена устойчивая юго-восточная направленность.

Наивысшие абсолютные сборы с единицы засеянной площади в разрезе административных районов наблюдали также в Предуральской лесостепной провинции. В Бугурусланском и Асекеевском районах средняя урожайность составила почти 2,0 т/га, а в Абдулинском, Матвеевском и Пономарёвском – на уровне 1,4–1,5 т/га. Среди административных районов, приуроченных к Заволжской степной провинции, по 1,6–1,7 т/га в среднем собирали в Бузулукском, Грачёвском и

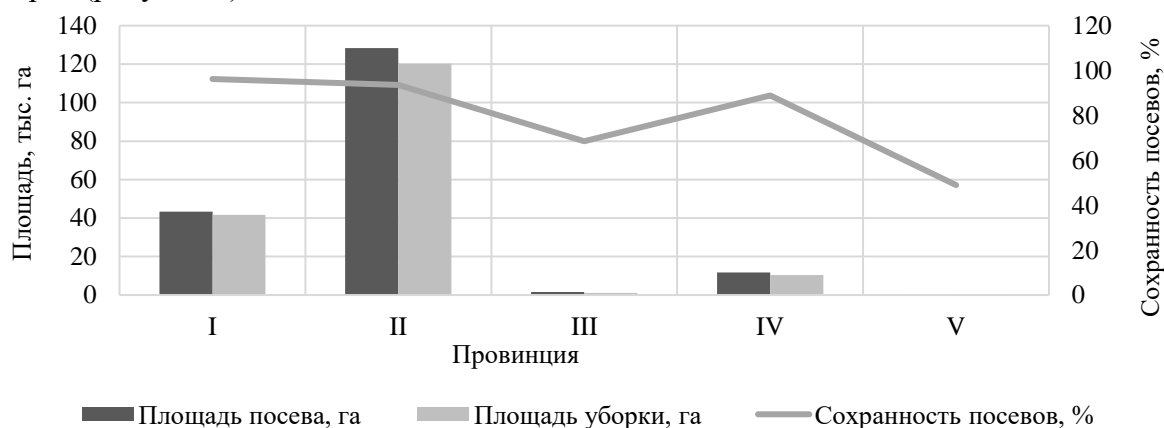
Сорочинском районах и более 1,5 т/га – в Красногвардейском, Курманаевском и Тоцком. Из административных районов, преимущественно приуроченных к Заволжской сухостепной провинции, урожайность на уровне 1,3–1,6 т/га отмечена в Ташлинском и Илецком районах. В низкоурожайных Казахстанских степной и сухостепной провинциях самую высокую урожайность, превысившую 1,0 т/га, наблюдали на полях Кувандыкского района (1,3 т/га).

Пространственное распределение урожайности с уборочной площади оказалось аналогичным, а в целом она превысила посевную на 0,05–0,49 т/га.

Результаты корреляционного анализа структурных элементов валовых сборов зерна позволили выявить сильную связь между площадью посева и площадью уборки, площадью посева и валовым сбором, площадью уборки и валовым сбором зерна как в целом по области, так и в Предуральской лесостепной и Заволжской степной провинциях в отдельности. В Казахстанской степной провинции сильно связанными оказались площадь посева и площадь уборки, в Казахстанской сухостепной – площадь уборки и валовой сбор, а в Заволжской сухостепной – площадь посева и площадь уборки, а также площадь уборки и валовой сбор.

Самые сильные парные связи отмеченных структурных элементов валовых сборов отмечали в Асекеевском ( $r = 0,99-0,89-0,94$ ), Бузулукском ( $r = 1,00-0,97-0,97$ ), Грачёвском ( $r = 0,97-0,90-0,96$ ) и Александровском ( $r = 0,99-0,92-0,93$ ) районах, представляющих Предуральскую лесостепную и Заволжскую степную провинции.

Территории Оренбургской области, вовлечённые в производство озимой ржи, значительно отличаются по размерам посевных площадей и сохранности посевов к уборке (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Пространственное рассредоточение площадей посева, уборки и сохранность посевов озимой ржи по природно-сельскохозяйственным провинциям (средние за 2008–2019 гг.)**

*Примечание.* I – Предуральская лесостепная; II – Заволжская степная; III – Казахстанская степная; IV – Заволжская сухостепная; V – Казахстанская сухостепная.

Из немногим более 185 тыс. га посевных площадей озимой ржи в области их основная часть была сосредоточена в Заволжской степной (почти 69,3 % или 128 тыс. га) и Предуральской лесостепной (23,4 % или 43 тыс. га) провинциях. В разрезе муниципальных образований более чем по 5,0 % областной посевной площади располагалось в Асекеевском, Шарлыкском, Сорочинском, Оренбургском, Ташлинском и Акбулакском районах, а доля участия Новосергиевского и Тоцкого районов оказалась самой высокой – 7,67–8,60 %.

Следует особо подчеркнуть способность озимой ржи в условиях Оренбургской области успешно перезимовывать и сохранять к уборке более полные посевы по

сравнению с озимой пшеницей [22]. В наших исследованиях площадь уборочных площадей в среднем за тринадцатилетний период по области составила 173 тыс. га или 93,7 % от площади посева. Наибольшая сохранность посевов к уборке (96,2 %) отмечена в Предуральской лесостепной провинции. На 2,6 п.п. она оказалась ниже в Заволжской степной провинции, на 7,4 п.п. – в Заволжской сухостепной, а самые низкие показатели сохранности посевов отмечены в Казахстанской степной (68,5 %) и сухостепной (49,0 %) провинциях. Самые благоприятные природные и антропогенные условия для высокой сохранности посевов наблюдали в Северном (97,2 %), Асекеевском (97,2 %), Пономарёвском (98,8 %), Бузулукском (99,0 %), Октябрьском (97,5 %), Курманаевском (99,0 %), Тоцком (99,0 %) и Сорочинском (99,1 %) районах. Больше всего погибших к уборке посевов в традиционных зонах возделывания (или сформировавших урожайность ниже порога экономической целесообразности) было в Шарлыкском (8,2 %), Первомайском (9,8 %), Переволоцком (8,5 %), Оренбургском (9,6 %), Илекском (10,1 %), Соль-Илецком (13,5 %) и Акбулакском (14,9 %). В Зауралье сохранность посевов к уборке оказалась самой низкой в области, на уровне 49,0–68,5 %.

Обращает на себя внимание устойчивый тренд сокращения посевных площадей озимой ржи в регионе, составивший за период 2008–2019 гг. 10417 га. Несмотря на увеличившуюся на 20329 и 3350 га посевную площадь в Заволжских степной и сухостепной провинциях, снизившийся более чем на 40,0 % посевной клин в Предуральской лесостепной провинции, в совокупности с неустойчивыми площадями посева в Зауралье, привёл в целом к отрицательной динамике. Наибольший «сброс» площадей посева наблюдали в Асекеевском (11890 га), Шарлыкском (7470 га), Северном (3090 га), Бугурусланском (3970 га), Абдулинском (5280 га), Матвеевском (3130 га), Бузулукском (3935 га), Грачёвском (2341 га), Курманаевском (2350 га) и Первомайском (3850 га) районах. Наиболее заметно расширились площади посева в Александровском (на 1785 га), Курманаевском (на 3540 га), Тоцком (8190 га), Новосергиевском (7150 га), Саракташском (на 1600 га), Ташлинском (на 2800 га) и Акбулакском (на 7105 га) районах.

Анализ климатических тенденций рассматриваемого тринадцатилетнего периода свидетельствует об отсутствии прямой связи между сокращением посевных площадей и усилением неблагоприятности климата ввиду повышения его засушливости (таблица 3).

**Таблица 3 – Климатические тенденции и их динамика в различных природно-сельскохозяйственных провинциях Оренбургской области (1990–2020 гг.)**

Природно-сельскохозяйственная провинция	Сумма осадков, мм		Сумма активных температур, °С	ГТК Селянинова средние/изменение
	за год / изменение	за активный период / изменение		
Предуральская лесостепная	<u>450</u> 23	<u>228</u> –8	<u>2762</u> 169	<u>0,82</u> –0,07
Заволжская степная	<u>359</u> –55	<u>198</u> –31	<u>3174</u> 392	<u>0,63</u> –0,20
Казахстанская степная	<u>285</u> –60	<u>170</u> –56	<u>2740</u> 214	<u>0,63</u> –0,32
Заволжская сухостепная	<u>327</u> –75	<u>171</u> –66	<u>3216</u> 355	<u>0,54</u> –0,28
Казахстанская сухостепная	<u>305</u> –67	<u>163</u> –55	<u>3036</u> 318	<u>0,54</u> –0,25

Результаты экспедиционных и полевых исследований указывают на первостепенность других причин, основными из которых чаще становятся социально-экономические.

К примеру, в Предуральской лесостепной провинции, потерявшей более всего посевных площадей, при общей для региона напряжённости климата (с ГТК Селянинова на уровне 0,54–0,82) наблюдаются самые незначительные изменения

метеорологических параметров – сумма активных температур повысилась на 169 °С (на 6,12 %), количество осадков тёплого периода снизилось на 8 мм (3,5 %), а в среднем за год отмечается их некоторый рост (на 5,1 %). В этих условиях снижение ГТК Селянинова оказалось самым незначительным среди природно-сельскохозяйственных провинций (на 0,07) области.

Более заметные изменения отмечали в Заволжской степной провинции, где ГТК снизился на 0,20, а самые неблагоприятные климатические тенденции наблюдали в Заволжской сухостепной (снижение на 0,28) и Казахстанских степной и сухостепной провинциях (снижение на 0,32 и 0,25).

Таким образом, современное состояние производства зерна озимой ржи в Оренбургской области характеризуется неравномерным пространственным распределением посевных площадей и их необоснованным (прежде всего климатическими изменениями) сокращением, особенно в наиболее благоприятной Предуральской лесостепной провинции. На фоне характерной для области невысокой урожайности это становится причиной снижения валовых сборов, создаёт вполне осязаемые риски продовольственной безопасности. В целях повышения продуктивности ржаных полей и стабилизации валовых сборов зерна представляется целесообразным тщательное пространственное распределение посевов озимой ржи по природно-сельскохозяйственным провинциям с наиболее благоприятными природными и социально-экономическими условиями и адаптация технологических решений к современным климатическим и антропогенным изменениям.

#### Выводы

Валовой сбор зерна озимой ржи в Оренбургской области характеризовался высокой временной и пространственной вариабельностью. В большей степени ( $r = 0,98$ ) он зависел от урожаев Заволжской степной провинции, детерминирующих до 96,0 % изменений общего урожая. С валовыми сборами в Заволжской сухостепной ( $r = 0,84$ ) и Предуральской лесостепной ( $r = 0,75$ ) провинциях связь также сильная, а с Казахстанской степной и сухостепной – слабая ( $r = 0,27-0,22$ ).

При устойчивом росте валовых сборов в Заволжских степной (на 26,8 тыс. т) и сухостепной (на 4,4 тыс. т) провинциях (2008–2019 гг.) их значительное сокращение в Предуральской лесостепной провинции (более чем на 46,0 тыс. т) сопровождалось общим отрицательным балансом (трендом).

Наибольшей средней урожайностью с посевной площади характеризовалась Предуральская лесостепная провинция (1,48 т/га). В других территориях урожайность меньше на 0,17–1,15 т/га, с устойчивым понижением в юго-восточном направлении.

Современной особенностью выращивания озимой ржи в регионе является устойчивое сокращение её посевных площадей, снизившихся на 10411 га, в основном благодаря уменьшившемуся более чем на 40,0 % посевного клина в Предуральской лесостепной провинции.

Перспективным направлением стабилизации и увеличения валовых сборов озимой ржи в регионе может стать северо-западная ориентация посевных площадей с преимущественной концентрацией в Предуральской лесостепной и Заволжской степной провинциях. Восстановление утраченных размеров посевных площадей, особенно в Асекеевском, Шарлыкском, Северном, Бугурусланском, Абдулинском, Матвеевском, Бузулукском, Грачёвском Курманаевском районах, в условиях не самых жёстких климатических изменений, следует рассматривать в качестве первого из шагов в достижении этой цели. Не менее важным считаем сосредоточение технологических усилий на ненарушенных устойчивых почвах, внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия, заботу об охране окружающей среды и нивелирование социально-экономических проблем.

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

## Литература

1. Кузнецова Л. И. Ржаной хлеб – развитие технологий и ассортимента // Хлебопечение России. 2015. № 2. С. 18–19.
2. Czubaszec A., Wojciechowicz-Budzisz A., Sychaj R., Kawa-Regielska J. Baking properties of flour and nutritional value of rye bread with brewer's spent grain // LWT. 2021. Vol. 150. P. 111955. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111955.
3. Костюченко М. Н., Шапошников И. И., Косован А. П. Проблемы развития рынка хлебобулочных изделий с использованием ржаной муки в Российской Федерации // Хлебопродукты. 2020. № 8. С. 6–10. DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-8-6-10
4. Kaur P., Singh Sandhu K., Singh Purewal S., Kaur M., Rumar Singh S. Rye: a wonder crop with industrially important macromolecules and health benefits // Food Research International. 2021. Vol. 150. P. 110769. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110769.
5. Koistinen V. M., Hanhineva K. Microbial and endogenous metabolic conversions of rye phytochemicals // Moil. Nutr. Food Res. 2017. Vol. 61. No. 7. P. 1600627. DOI: 10.1002/mnfr.201600627.
6. Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Капитанов М. П., Пронин А. А. Возделывание однолетних травосмесей после уборки озимой ржи на зелёный корм // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 4. С. 79–82. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14078.
7. Fresno T., Penalosa J. M., Flagmeier M., Moreno-Jimenez E. Aided phytostabilisation over two years using iron sulphate and organic amendments: effects on soil quality and rye production // Chemosphere. 2020. Vol. 240. P. 124827. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124827.
8. Гулянов Ю. А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 3(19). С. 64–76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.
9. Дремучева Г. Ф. Ржаной хлеб в России: вчера и сегодня // Хлебопекарное и кондитерское производство. 2003. № 3(19). С. 6–8.
10. Золкин А. Л., Матвиенко Е. В., Шанина Е. Н., Калякина В. М. Современное состояние и тенденции мирового производства зерна // Управленческий учёт. 2021. № 7-1. С. 231–237.
11. Bondia-Pons I., Aura A-M., Vuorela S., Kolehmainen M., Mykkanen H., Poutanen K. Rye phenolics in nutrition and health // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 49. No. 3. P. 323–336. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.007.
12. ЕМИСС. Государственная статистика. Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчёте на убранную площадь). [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения 22.07.2021).
13. Крючков А. Г., Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Озимая рожь в Оренбуржье: сорта, урожайность и экологическая пластичность // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 11–14.
14. 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.
15. Гулянов Ю. А. Изменение региональных климатических условий и продуктивность озимой пшеницы в степной зоне европейской России // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4 (28). С. 58–68. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-58-68.
16. Система устойчивого ведения сельского хозяйства Оренбургской области // Под ред. Еременко В. К., Крючкова А. Г., Тихонова В. Е., Часовских Н. П., Белькова Г. И. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1999. С. 6–117.
17. Блохин Е. В. Экология почв Оренбургской области. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 1997. 227 с.
18. Климентьев А. И. Почвы степного Зауралья: ландшафтно-генетическая и экологическая оценка. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 2000. 350 с.
19. Осадки и температура. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/aisori/select.xhtml> (дата обращения 10.07.2021).
20. Соболин Г. В., Сатункин И. В., Гулянов Ю. А., Коровин Ю. И. Эколого-экономические проблемы орошаемого земледелия // Экономика сельского хозяйства России. 2003. № 4. С. 37.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
22. Гулянов Ю. А. Пути повышения зимостойкости и сохранности к уборке озимой пшеницы в степи Южного Урала // Земледелие. 2005. № 6. С. 24–25.

## References

1. Kuznetsova L. I. Rye bread – development of technologies and range// Baking in Russia. 2015. No. 2. P. 18–19.
2. Czubaszec A., Wojciechowicz-Budzisz A., Sychaj R., Kawa-Regielska J. Baking properties of flour and nutritional value of rye bread with brewer's spent grain // LWT. 2021. Vol. 150. P. 111955. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111955.

3. Kostyuchenko M. N., Shaposhnikov I. I., Kosovan A. P. Problems of development of the market of bakery products using rye flour in the Russian Federation // *Khleboproducty*. 2020. No. 8. P. 6–10. DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-8-6-10.
4. Kaur P., Singh Sandhu K., Singh Purewal S., Kaur M., Rumar Singh S. Rye: a wonder crop with industrially important macromolecules and health benefits // *Food Research International*. 2021. Vol. 150. P. 110769. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110769.
5. Koistinen V. M., Hanhineva K. Microbial and endogenous metabolic conversions of rye phytochemicals // *Moil. Nutr. Food Res*. 2017. Vol. 61. No. 7. P. 1600627. DOI: 10.1002/mnfr.201600627.
6. Artemyev A. A., Guryanov A. M., Kapitanov M. P., Pronin A. A. Annual grass mixtures cultivation after harvesting winter rye as silage // *International Agricultural Journal*. 2020. No. 4. P. 79–82. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14078.
7. Fresno T., Penalosa J.M., Flagmeier M., Moreno-Jimenez E. Aided phytostabilisation over two years using iron sulphate and organic amendments: effects on soil quality and rye production // *Chemosphere*. 2020. Vol. 240. P. 124827. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124827.
8. 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. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.
9. Dremucheva G. F. Rye bread in Russia: yesterday and today // *Bakery and confectionery production*. 2003. No. 3(19). P. 6–8.
10. Zolkin A. L., Matvienko E. V., Shanina E. N., Kalyakina V. M. Current state and trends of world grain production // *Management accounting*. 2021. No. 7-1. P. 231–237.
11. Bondia-Pons I., Aura A-M., Vuorela S., Kolehmainen M., Mykkanen H., Poutanen K. Rye phenolics in nutrition and health // *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 49. No. 3. P. 323–336. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.007.
12. EMISS. State statistics. Crop yields (per harvested area). [Electronic resource]. Access point: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (reference's date 22.07.2021).
13. Kryuchkov A. G., Besaliev I. N., Panfilov A. L. Winter rye in Orenburg region: varieties, yield and economic plasticity // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015. No. 6 (56). P. 11–14.
14. Gulyanov Yu. A., Dosov D. Zh., 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.
15. Gulyanov Yu. A. Changes in regional climatic conditions and productivity of winter wheat in the steppe zone of European Russia // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021. No. 4 (28). P. 58–68. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-58-68.
16. The system of sustainable agriculture of the Orenburg region // Ed. by Eremenko V. K., Kryuchkov A. G., Tikhonov V. E., Chasovskikh N. P., Bel'kov G. I. Orenburg: Orenburg Book Publishing House, 1999. P. 6–117.
17. Blokhin E. V. Soil ecology of the Orenburg region. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 1997. 227 p.
18. Klimentyev A. I. Soils of the steppe Trans-Urals: landscape-genetic and ecological assessment. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2000. 350 p.
19. Precipitation and temperature. [Electronic resource]. Access point: <http://aisori-m.meteo.ru/aisori/select.xhtml> (reference's date 10.07.2021).
20. Sobolin G. V., Satunkin I. V., Gulyanov Yu. A., Korovin Yu. I. Ecological and economic problems of irrigated agriculture // *Economics of Agriculture of Russia*. 2003. No. 4. P. 37.
21. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
22. Gulyanov Yu. A. Ways to increase winter hardiness and safety for harvesting winter wheat in the steppe of the Southern Urals // *Zemledelie*. 2005. No. 6. P. 24–25.

UDC 633.11: 551.5

Gulyanov Yu. A.

## CURRENT STATE AND PROSPECTS OF WINTER RYE PRODUCTION IN THE ORENBURG REGION

*Summary.* An assessment of the current state of winter rye production is necessary to determine promising areas for ensuring food security without damaging the environment. The purpose of the research is to analyze long-term trends in changes in the gross harvest of winter rye and identify promising areas for stabilizing grain production. The studies were carried out in the Orenburg region from 2008 to 2019. The direction and size of changes in structural elements were identified for natural-agricultural provinces according to the

*agroecological grouping of lands. Generally accepted methods of statistical analysis were used to process digital material. High temporal and spatial variability of gross harvests was revealed. To a greater extent ( $r = 0.98$ ), they depend on harvests in the Trans-Volga steppe province, which determines up to 96.0 % of changes in the total harvest. The connection with gross harvests in the Trans-Volga dry-steppe ( $r = 0.84$ ) and Cis-Ural forest-steppe ( $r = 0.75$ ) provinces is also strong; in the Kazakhstan steppe and dry-steppe provinces, it is weak ( $r = 0.27-0.22$ ). With a steady increase in gross harvests in the Trans-Volga steppe (by 26.8 thousand tons) and dry steppe (by 4.4 thousand tons) provinces (2008-2019), their significant reduction in the Cis-Ural forest-steppe province (by more than 46.0 thousand tons) led to an overall negative balance. The highest average yield from the sown area is typical for the Pre-Ural forest-steppe province (1.48 t/ha). In other territories, the yield is lower by 0.17–1.15 t/ha, with a steady decrease in the southeast direction. A distinctive modern feature of winter rye growing in the region is a steady decrease of sown areas (by 10,411 hectares), mainly due to a reduction in the sowing wedge in the Cis-Ural forest-steppe province (more than 40.0 %). The main prerequisites for the negative dynamics under not the most severe climatic changes are socio-economic reasons. A promising direction for stabilizing and increasing the gross harvests of winter rye in the region may be the northwestern orientation of sown areas with its predominant concentration in the Cis-Ural forest-steppe and Trans-Volga steppe provinces with the introduction of adaptive landscape farming systems on stable undisturbed soils.*

**Keywords:** *Orenburg region, natural and agricultural provinces, *Secale cereale* L., winter rye, gross harvest, climatic changes, adaptive landscape farming systems.*

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.gulynov@yandex.ru.

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

*Дата поступления в редакцию – 27.12.2021.*

*Дата принятия к печати – 20.01.2022.*

УДК 631.5/.9:631.559:633.1 «324»  
EDN FPEPYS

Дудкина Т. А.

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СЕВОБОРОТОВ, ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ  
УДОБРЕНИЙ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО  
ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ**

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»

**Реферат.** В современных системах земледелия важной задачей является достижение высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Цель исследований заключалась в изучении влияния севооборотов, доз минеральных удобрений, а также погодных условий на урожай и показатели качества зерна озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Центральном Черноземье. Исследования проводили в ФГБНУ «Курский ФАНЦ», опыт заложен в трёхкратной повторности на посевах озимой пшеницы сорта Синтетик. Почва – чернозём типичный тяжелосуглинистый. ГТК составил: в 2018 г. – 0,90, 2019 г. – 0,63, 2020 г. – 0,95. Исследуемые факторы: севооборот (зернопаропропашной с чёрным паром и с сидеральным паром, плодосменный), дозы минеральных удобрений под озимую пшеницу: без удобрений,  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{80}P_{80}K_{80}$ ,  $N_{100}P_{100}K_{100}$  кг д.в. на 1 га. Наибольшую урожайность зерна озимой пшеницы получили в 2020 г. в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром (7,00 т/га), а в 2018 и 2019 гг. – в севообороте с чёрным паром (соответственно 4,71 и 3,90 т/га). Увеличение дозы удобрений сопровождалось ростом урожайности на 3,1–41,0 %. Натура зерна в севооборотах с чёрным и сидеральным паром по сравнению с плодосменным на 5–7 г больше. Выращивание озимой пшеницы по сидеральному пару обеспечило более высокое содержание клейковины (на 3,1 и 4,7 %) и сырого протеина (на 1,1–1,7 %) в зерне, по сравнению с другими предшественниками. Названные показатели возрастали с увеличением удобрённости. В плодосменном севообороте зерно отличалось наибольшей крахмалистостью (67,1 %). Меньше всего этот показатель был в варианте с сидеральным паром – 65,7 %. Таким образом, наилучшие показатели урожайности и качества зерна озимой пшеницы достигаются при благоприятных условиях увлажнения почвы в процессе выращивания этой культуры в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром, а при недостатке осадков – в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром.

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), севооборот, минеральные удобрения, метеоусловия, урожайность, качество зерна.

**Для цитирования:** Дудкина Т. А. Влияние различных севооборотов, доз минеральных удобрений и погодных условий на урожай и качество зерна озимой пшеницы в Центральном Черноземье // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 30–40. EDN: FPEPYS.

**For citation:** Dudkina T. A. Influence of different crop rotations, rates of mineral fertilizers and weather conditions on the yield and quality of winter wheat grain in the Central Chernozem Region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 30–40. EDN: FPEPYS.

### Введение

Центрально-Чернозёмная зона – один из основных регионов выращивания продовольственного зерна в Российской Федерации. Нарращивание производства зерна и повышение его качества является важнейшей общегосударственной задачей. При этом ведущее место в структуре зернового клина в регионе принадлежит озимой пшенице.



Эта культура отличается высокой урожайностью, хорошими качественными характеристиками зерна. В большинстве лет озимая рожь и яровые зерновые колосовые культуры уступают озимой пшенице по урожайности.

Следует отметить агротехническую роль озимой пшеницы как отличного предшественника для большинства сельскохозяйственных культур. В то же время сама культура отличается высокой требовательностью к предшественнику. Как правило, её размещают по чёрному, занятым парам и многолетним травам [1].

Ценность предшественников неодинакова в зависимости от почвенно-климатических условий зоны, общего уровня культуры земледелия, обеспеченности техникой, удобрениями и организационных возможностей хозяйства. После предшественников в почве остаётся разное количество растительных остатков, влаги, питательных веществ, неодинаковое структурное состояние почвы и засорённость посевов [2]. Хорошие предшественники озимой пшеницы обеспечивают растения достаточным количеством влаги для их роста и развития, получения дружных всходов [3, 4].

Севооборот оказывает непосредственное влияние на состояние экономики хозяйства, объединяет все организационные и агротехнологические мероприятия, которые позволяют не только выполнять технологию возделывания культур, но и обеспечить повышение плодородия почвы.

Использование адаптивных севооборотов позволит рационально использовать возобновляемый природный потенциал (тепло, воду, свет), что, в свою очередь, ведёт к повышению отдачи от антропогенных средств [5].

В современных условиях в адаптивно-ландшафтных системах земледелия севообороты являются основой биологизации земледелия, которая благоприятствует переходу на экологически чистое земледелие [6].

Рассматривая проблему севооборотов, нельзя не упомянуть важную роль севооборота в повышении плодородия почв. Решение этой задачи достигается в том числе более широким использованием сидерации, как в промежуточных посевах, так и в паровом поле [7–12].

В структуре применяемых в растениеводстве удобрительных средств ведущим, как по объемам применения, так и по экономической эффективности являются минеральные удобрения.

Исходя из вышесказанного, актуальны исследования, направленные на изучение действия севооборота, являющегося основным биологическим фактором, и удобрительных средств на количественные и качественные показатели урожая.

**Цель исследований** – изучение влияния севооборотов с различным набором культур, доз минеральных удобрений, а также погодных условий и их сочетаний на урожайность и показатели качества зерна озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Центрально-Чернозёмном регионе.

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

Исследования проводили в 2018–2020 гг. в лесостепной зоне с умеренно-континентальным климатом на базе многофакторного стационарного полевого опыта, который был заложен в 1991 г. лабораторией севооборотов Всероссийского НИИ земледелия и защиты почв от эрозии в опытном хозяйстве института (с. Панино Медвенского района Курской области).

Севообороты (таблица 1) в опыте развёрнуты во времени и пространстве в трехкратной повторности с систематическим расположением вариантов. Размер делянок – 8,1×25,0 м (посевная площадь – 202,5 м<sup>2</sup>).

Во всех изучаемых севооборотах под озимую пшеницу минеральные удобрения вносили осенью в различных дозах: без удобрений (контроль), N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>, N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>100</sub> кг д.в. на 1 га севооборота.

**Таблица 1 – Чередование культур в севооборотах в опыте**

Вид севооборота		
зернопаропропашной		плодосменный
пар чёрный	пар сидеральный (горох ( <i>Pisum sativum</i> L.))	пар занятый (бобы конские ( <i>Vicia faba</i> L.))
озимая пшеница ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	озимая пшеница	озимая пшеница
сахарная свекла ( <i>Beta vulgaris</i> L.)	сахарная свекла	люпин ( <i>Lupinus angustifolius</i> L.)
кукуруза ( <i>Zea mays</i> L.) на силос	кукуруза на силос	горох
ячмень ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	ячмень	ячмень

Для возделывания культур, выращиваемых в представленных севооборотах, использовали общепринятые технологии в условиях зоны. В зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром зелёную массу гороха в фазе бутонизации заделывали в почву двукратной обработкой тяжелой дисковой бороной БДТ-3 в агрегате с трактором МТЗ-80. В опыте использовали семена озимой мягкой пшеницы районированного сорта Синтетик селекции Белгородского Федерального аграрного научного центра РАН, рекомендованного для возделывания в Центрально-Чернозёмном регионе.

В целях обеспечения охраны окружающей среды задачей современного земледелия является снижение пестицидной нагрузки при выращивании сельскохозяйственной продукции. Программой нашего опыта предусмотрено минимальное использование количества химических средств защиты растений. Для посева семенной материал обязательно обрабатывали химическими средствами («Винцит», СК – 1,5 л/т). Обработку посевов сельскохозяйственных культур пестицидами в борьбе с сорными растениями, вредителями и болезнями осуществляли только в том случае, если после проведения фитосанитарного мониторинга их количество превышало экономический порог вредоносности.

Почва опытного участка – чернозём типичный тяжелосуглистый среднесиловый. Агрохимическая характеристика опытного участка в 0–20 и 20–40 см слоях почвы: гумус (по Тюрину) – 5,0 и 5,2 % соответственно; гидролитическая кислотность Нг – 3,54 и 3,06 мг-экв./100 г почвы, рН<sub>KCl</sub> – 6,35 и 6,70 ед; азот щелочногидролизующий (по Корнфильду в модификации ЦИНАО) – 18,6 и 17,4 мг/100 г; сумма поглощённых оснований – 30,0 и 31,4 мг-экв./100 г; фосфор подвижный (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 100,9 и 94,9 мг/кг; калий подвижный (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 91,1 и 85,5 мг/кг.

Для анализа климатических условий за период проведения исследований взяты среднемесячные данные температуры и количества осадков на агрометеорологической станции «Курск» (месторасположение – широта 51.77°, долгота 36.17°, высота над уровнем моря – 247 м), а также среднесезонные месячные данные (норма) за период 1961–1990 гг.

Гидротермический коэффициент (ГТК) Т. Г. Селянинова рассчитывали за период конкретного года, когда температура воздуха превышала 10 °С. Согласно данным метеонаблюдений, 2018 и 2020 гг. характеризовались как недостаточно влажные (ГТК = 0,90 и 0,95 соответственно), а 2019 г. – как засушливый (ГТК = 0,63).

Учёт урожая озимой пшеницы проводили поделочно прямым комбайнированием комбайном «Сампо-500».

Определение влияния севооборотов и минеральных удобрений на качественные показатели зерна озимой пшеницы выполняли в соответствии с ГОСТ и общепринятыми методиками: натура зерна – ГОСТ 10840-64, сырая клейковина – ГОСТ Р 54478-2011, сырой протеин – ГОСТ 10846-91, крахмал – ГОСТ 10845-76.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа [13] и предложенным сотрудниками Центра [14] методом индивидуального подхода к анализу урожайности с целью увеличения информативности с использованием программного обеспечения Statistica 6.0 и Microsoft Office Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

За период проведения исследований (2018–2020 гг.) во всех изучаемых вариантах урожайность озимой пшеницы варьировала от 2,52 до 7,86 т/га в зависимости от севооборота, доз минеральных удобрений и погодных условий (таблица 2). В среднем за три года в контрольных вариантах (без внесения минеральных удобрений) в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром, зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром и плодосменном севообороте урожайность составила 4,39, 4,43 и 3,50 т/га соответственно.

Высокие показатели урожайности зафиксированы в 2020 г. из-за благоприятно сложившихся погодных условий в ключевые фазы роста и развития растений. В севообороте с сидеральным паром урожайность имела тенденцию к увеличению по сравнению с севооборотом с чёрным паром на 0,27 т/га и была значимо больше (на 1,02 т/га), чем в плодосменном севообороте. При недостаточном количестве осадков в 2018 и 2019 гг. севооборот с сидеральным паром уступает только севообороту с чёрным паром (в 2019 г. разница составила 0,14 т/га), а по сравнению с плодосменным севооборотом урожайность была выше на 1,08 и 0,68 т/га соответственно.

**Таблица 2 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от севооборота и минеральных удобрений, т/га**

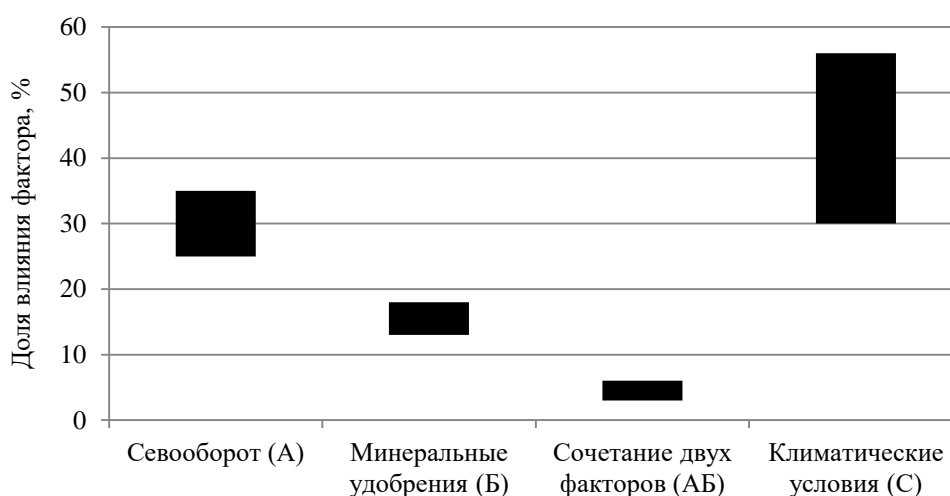
Севооборот	Минеральные удобрения на 1 га севооборота	Год			Среднее значение	Прибавка	
		2018	2019	2020		т/га	%
Зернопаропропашной с чёрным паром	Контроль	3,91	3,34	5,92	4,39	-	-
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,43	3,69	7,05	5,06	0,67	15,3
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	4,76	3,61	6,63	5,00	0,61	13,9
	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	5,74	4,96	7,86	6,19	1,80	41,0
Зернопаропропашной с сидеральным паром	Контроль	3,89	3,20	6,19	4,43	-	-
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,29	3,65	7,08	5,01	0,58	13,1
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	4,82	3,84	6,92	5,19	0,76	17,2
	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	5,17	4,76	7,81	5,91	1,48	33,4
Плодосменный	Контроль	2,81	2,52	5,17	3,50	-	-
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	3,17	2,58	5,09	3,61	0,11	3,1
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	3,36	2,59	5,72	3,89	0,39	11,1
	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	3,34	2,84	5,86	4,01	0,51	14,6
НСР <sub>05</sub>	A	0,16	0,09	0,27			
	B	0,18	0,10	0,31			
	AB	0,32	0,18	0,54			

*Примечание.* Фактор A – севооборот, фактор B – минеральные удобрения, AB – сочетание факторов A и B.

Урожайность озимой пшеницы сильно зависела от доз применения удобрений. Увеличение нормы внесения минеральных удобрений сопровождалось ростом урожайности. В среднем за три года самый высокий урожай зерна пшеницы отмечен в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром при удобрении

$N_{100}P_{100}K_{100}$  – 6,19 т/га (прибавка, по отношению к контролю, составила 41 %). С увеличением дозы внесения удобрений от  $N_{60}P_{60}K_{60}$  до  $N_{100}P_{100}K_{100}$  прибавка урожайности в среднем за три года увеличивалась: в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром на 25,7 %, в севообороте с сидеральным паром – на 16,2 %. В плодосменном севообороте отдача от внесения удобрений была самой низкой – прибавка урожайности между вариантами с самой высокой и самой низкой дозой минеральных удобрений составила 11,5 %.

Согласно результатам дисперсионного анализа, на урожайность озимой пшеницы оказывали значительное влияние все изучавшиеся факторы: севооборот, минеральные удобрения и их сочетание, а также погодные условия. Из рисунка 1 видно, что климатические условия (фактор С) являлись основным фактором, влияющим на урожайность озимой пшеницы. Степень этого влияния изменялась в зависимости от количества осадков и температурного режима вегетационного периода выращивания культуры. В 2018 г. доля вклада влияния погодных условий в урожайность озимой пшеницы оставила 44 %, в 2019 г. – 56 % и в 2020 г. – 30 %.



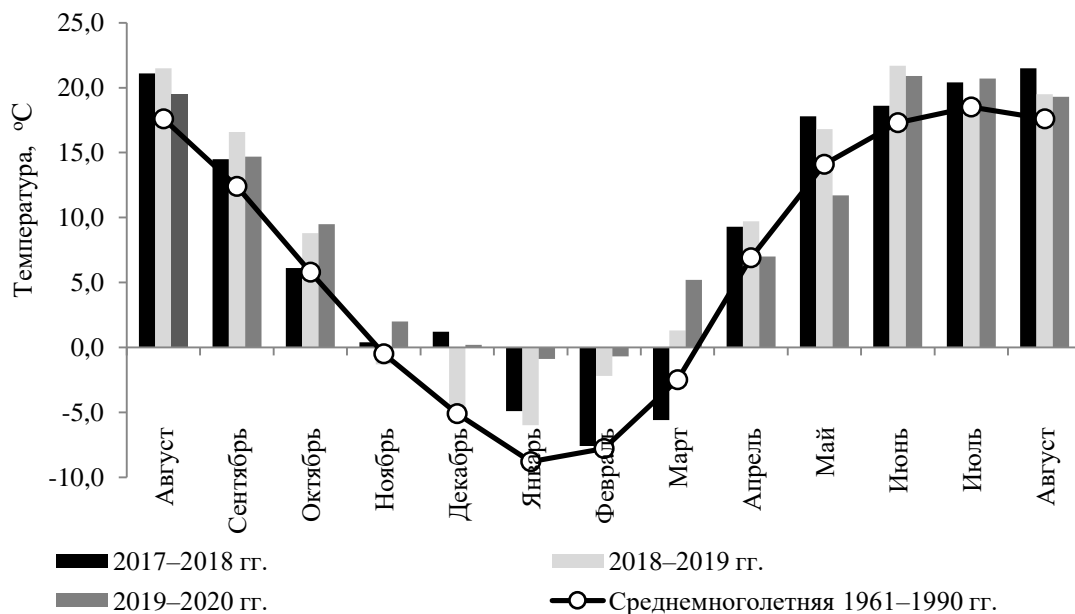
**Рисунок 1 – Доля влияния факторов относительно дисперсии признака на урожайность озимой пшеницы (2018–2020 гг.)**

За период проведения исследований фактор А (севооборот) оказал большее влияние на урожайность озимой пшеницы – 25–35 % от общей дисперсии признака, по сравнению с фактором В (минеральные удобрения) – 14–18 %, а влияние сочетания этих двух факторов АВ также было значимым и составило 3–4 %.

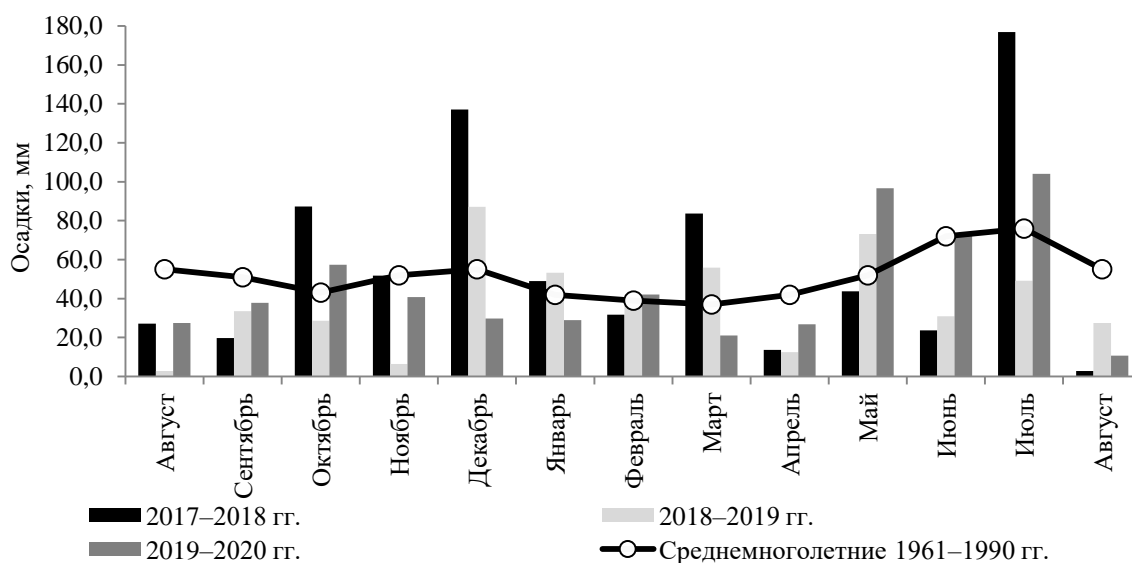
Метеоусловия по годам исследований и в течение вегетационного периода озимой пшеницы отличались разнообразием. В 2017/18 сельскохозяйственном году осадков выпало больше среднего многолетнего значения, а в другие годы – меньше.

Температура воздуха в среднем за три года была выше нормы в 1,4 раза, при этом с каждым годом идёт увеличение среднегодовой температуры. Так, в 2017 г. она увеличилась в 1,3 раза, в 2018 г. – в 1,4 и в 2020 г. – в 1,5 раза (рисунок 2). Это согласуется с данными Дериглазовой Г. М. и Боевой Н. Н [15]. Авторами был проведен анализ температурного режима за 50 лет в Курской области, который свидетельствует о наметившейся устойчивой тенденции к потеплению.

Количество выпавших осадков варьировало от 74 до 111 % (499–596 мм) относительно климатической нормы осадков, из которых 60–88 % приходится на тёплый вегетационный период развития озимой пшеницы (рисунок 3).



**Рисунок 2 – Среднемесячная и среднемесячная температура воздуха за годы исследований (2017–2020 гг.)**



**Рисунок 3 – Среднемесячное и среднемесячное количество осадков за годы исследований (2017–2020 гг.)**

При этом количество выпавших осадков неравномерно распределялось в течение вегетации и, особенно, в критические периоды роста и развития культуры.

На протяжении трёх лет в осенний период погодные условия оказывались неблагоприятными для посева и прорастания семян озимой пшеницы из-за недостаточного количества осадков (на 17–52 мм ниже нормы) и повышенного температурного режима (на 2,0–4,2 выше нормы). Только во второй половине сентября появлялись всходы с последующим кущением в зернопаропропашном севообороте с чёрным и сидеральным паром, а в плодосменном севообороте отмечали только единичные всходы и затем лишь в весенний период было

зафиксировано увеличение густоты стояния посевов с последующим прохождением фазы кущения.

В период формирования и развития репродуктивных органов озимой пшеницы в 2018 г. отмечали продолжительную жаркую и сухую погоду. Средняя высота растений была ниже на 20–30 см, чем в 2019–2020 гг. Но, в связи с высоким количеством осадков в фазе формирования зерновки (больше на 126 мм, чем в 2019 г. и 72 мм, чем в 2020 г.) зерно отличалось большей выполненностью.

В среднем по фонам удобренности самые высокие значения урожайности были получены в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром – 5,16 т/га и в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром – 5,13 т/га (таблица 3). Значительно ниже величина этого показателя была в плодосменном севообороте – 3,76 т/га. Эти данные показывают высокую роль предшественника озимой пшеницы в формировании урожая. В звеньях с чёрным и сидеральным паром создавались лучшие почвенные и фитосанитарные условия для произрастания озимой пшеницы.

**Таблица 3 – Влияние севооборота и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы, т/га**

Уровни факторов	Год			Среднее
	2018	2019	2020	
севооборот (А)				
Зернопаропропашной с чёрным паром	4,71	3,90	6,87	5,16
Зернопаропропашной с сидеральным паром	4,54	3,86	7,00	5,13
Плодосменный	3,17	2,63	5,46	3,75
минеральные удобрения (Б)				
Без удобрений	3,54	3,02	5,76	4,11
Уровень удобренности 1-й	3,96	3,31	6,41	4,56
Уровень удобренности 2-й	4,31	3,35	6,42	4,69
Уровень удобренности 3-й	4,75	4,19	7,18	5,37

Положительное влияние увеличения дозы внесения минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы прослеживалось в годы с различными погодными условиями. Но в зависимости от осадков и температуры воздуха отдача от минеральных удобрений разная. Если в 2020 г. сумма осадков за тёплый период вегетации озимой пшеницы составила 525 мм (88 % от климатической нормы), то увеличение урожайности относительно контроля в зависимости от уровня удобренности варьировало от 0,65 до 1,42 т/га. В 2019, 2018 гг. по сравнению с 2020 г. выпало осадков на 24–47 % меньше и эффект от минеральных удобрений, судя по прибавке урожая, снизился на 18–55 %.

Возделывание озимой пшеницы по сидеральному пару повышало содержание клейковины (на 3,1 и 4,7 %) и сырого протеина (на 1,1 и 1,7 %) в зерне по сравнению с выращиванием по другим предшественникам (таблица 4). Относительно низкий уровень рассматриваемого показателя имел место в плодосменном севообороте, где озимая пшеница выращивалась по занятому пару (кормовым бобам).

Сравнение вариантов опыта с различными фонами удобрений показало, что меньше всего содержание сырой клейковины и сырого протеина в зерне было на неудобренном фоне. С повышением уровня удобренности минеральными удобрениями отмечается тенденция роста рассматриваемых показателей. По-иному влияли изучаемые факторы на содержание крахмала в зерне. В среднем за три года (2018–2020 гг.) наибольшей крахмалистостью характеризовалось зерно пшеницы, выращенное в плодосменном севообороте – 67,1 %. Наименьшее содержание крахмала в зерне отмечено в севообороте с сидеральным паром – 65,7 %. Севооборот с чёрным паром занимал промежуточное значение.

**Таблица 4 – Качественные показатели зерна озимой пшеницы  
(среднее за 2018–2020 гг.)**

Севооборот	Минеральные удобрения на 1 га севооборота	Содержание, %			Натура зерна, г/л
		клейковины	протеина	крахмала	
Зернопаропропашной с чёрным паром	Контроль	23,5	13,4	66,6	832
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	25,9	14,0	66,1	839
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	26,4	14,5	66,4	840
	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	27,1	14,7	66,3	843
Зернопаропропашной с сидеральным паром	Контроль	26,6	14,5	66,1	833
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	27,3	14,7	65,7	836
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	27,6	14,8	65,5	838
	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	28,0	15,0	65,5	838
Плодосменный	Контроль	21,9	12,8	67,1	829
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	23,1	13,0	67,0	831
	N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	23,5	13,2	66,9	831
	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	24,6	13,8	65,8	833
НСР <sub>05</sub>	A	1,6	0,4	0,6	4,9
	B	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>	0,5	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>
	AB	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> ≤ F <sub>т</sub>

В отличие от сырой клейковины и сырого протеина, содержание крахмала в зерне с повышением количества вносимых минеральных удобрений не увеличивалось, а снижалось. Таким образом, накопление крахмала в конечной продукции наиболее интенсивным было в вариантах без удобрений. Отмеченная тенденция наиболее заметна в плодосменном севообороте, где различие по рассматриваемому показателю между вариантом без удобрений и вариантом с максимальной дозой удобрений составило 1,3 %.

Натура зерна – один из ключевых показателей, характеризующих качество продукции. Высоконатурным считается зерно при натуре более 785 г/л. Во всех вариантах опыта полученные показатели превышали этот уровень. Рассматриваемый показатель изменялся по вариантам опыта от 829 до 843 г/л (см. таблицу 4).

В 2018 г. некоторое преимущество имел зернопаропропашной севооборот с чёрным паром. Так, в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром в среднем по фоновым удобрениям этот показатель равнялся 817 г/л, в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром – 810 г/л, а в плодосменном – 807 г/л. В 2019 г. натура зерна озимой пшеницы имела тенденцию роста в севообороте с занятым паром – на 4 г/л больше по сравнению с двумя другими севооборотами. Более сильно севооборот влиял на рассматриваемый показатель в 2020 г. Различия между плодосменным и зернопаропропашным сидеральным севооборотом составили 15 г/л в пользу последнего, что больше НСР<sub>05</sub> (4,9 г/л).

Отмечено варьирование по годам натуры зерна. Лучшие условия для формирования выполненного зерна были в 2019 и в 2020 гг.

В среднем по фоновым удобрениям за годы исследований самая высокая натура зерна нами была установлена в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром – 838 г/л. Ниже величина этого показателя была при замене чёрного пара сидеральным. Плодосменный севооборот по натуре зерна уступал двум другим севооборотам на 5–7 г/л.

### **Выводы**

Наилучшие показатели урожайности и качества зерна озимой пшеницы достигаются при благоприятных погодных условиях (525 мм осадков за

вегетационный год) в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром (урожайность – 7,00 т/га, содержание клейковины в зерне – 28,0 %), а при недостатке осадков (310 и 440 мм) – в зернопаропропашном севообороте с чёрным паром (урожайность соответственно – 4,71 и 3,90 т/га, содержание клейковины в зерне – 27,4 и 21,0 %).

С повышением уровня удобренности минеральными удобрениями повышались урожайность озимой пшеницы, содержание сырой клейковины и сырого протеина, натура зерна. Так, в среднем по севооборотам, урожайность озимой пшеницы с повышением уровня удобренности изменялась следующим образом: 4,11 т/га, 4,56, 4,69 и 5,37 т/га; содержание клейковины – 24,0; 25,4; 25,8 и 26,6 %.

Наибольшее влияние на урожайность зерна озимой пшеницы оказывали погодные условия. Доля вклада погодных условий в урожайность этой культуры колебалась по годам от 30 % в 2020 г. до 56 % – в 2019 г. Далее следуют севооборот – 25–35 % и минеральные удобрения – 14–18 %.

### Литература

1. Турусов В. И., Гармашов В. М., Богатых О. А., Балюнова Е. А. Роль предшественников пшеницы озимой в севообороте в условиях ЦЧЗ // Аграрная наука. 2017. № 11–12. С. 10–11.
2. Дудкин И. В., Дудкина Т. А. Действие факторов биологизации земледелия на засоренность посевов озимой пшеницы // Земледелие. 2014. № 3. С. 41–43.
3. Брескина Г. М., Чуян Н. А. Влияние приемов биологизации на урожайность сельскохозяйственных культур // Земледелие. 2020. № 3. С. 30–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10308.
4. Saikia R., Sharma S., Thind H. S., Sidhu H. S. Temporal changes in biochemical indicators of soil quality in response to tillage, crop residue and green manure management in a rice-wheat system // Ecological Indicators. 2019. Vol. 103. P. 383–394. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.04.035.
5. Черкасов Г. Н., Акименко А. С., Дудкин И. В. [и др.]. Методика оптимизации севооборотов и структуры использования пашни. М.: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2004. 76 с.
6. Дудкин В. М., Дудкин И. В. Пути усиления роли севооборота как биологического фактора в современных системах земледелия // Почвозащитное земледелие в России. Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 45-летию ВНИИЗиЗПЭ. Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2015. С. 109–112.
7. Гилев С. Д., Цымбаленко И. Н., Бастрычкина О. С. Возделывание зерновых культур без средств химизации в зерновых севооборотах // Аграрный вестник Урала. 2014. № 6 (124). С. 6–10.
8. Тойгильдин А. Л., Морозов В. И., Подсевалов М. И. Биологизация севооборотов и качество зерна яровой пшеницы в условиях Лесостепной зоны Поволжья // Вестник Ульяновской ГСХА. 2019. № 2 (46). С. 58–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-58-64.
9. Zhang Yu., Dai X., Jia D., Li H., Wang Y., Li C., Xu H., He M. Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and breadmaking quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilisation rates // European Journal of Agronomy. 2016. Vol. 73. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.eja.2015.11.015.
10. Götze P., Rücknagel L. J., Wensch-Dorendorf M., Märlander B., Christen O. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years // European Journal of Agronomy. 2017. Vol. 82. P. 50–59. DOI: 10.1016/j.eja.2016.10.003.
11. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение в земледелии России. М.: ВНИИА, 2015. 300 с.
12. Aytimirov A. A., Khalilov M. B., Babayev T. T., Amiraliev Z. G. Impact of green manure on crop yield of cereals in conditions of irrigation of the Tersko-Sulak subprovinces // South of Russia: ecology, development. 2018. Vol. 13 No. 2. P. 144–155. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-144-155.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.
14. Сухановский Ю. П., Акименко А. С., Дудкина Т. А., Прущик А. В. Использование методов математической статистики для повышения информативности данных урожайности сельскохозяйственных культур в севооборотах многофакторного полевого опыта // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 6 (378). С. 94–97. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-16124.
15. Дериглазова Г. М., Боева Н. Н. Динамика погодных условий Курской области за последние 50 лет // Вестник Курской ГСХА. 2020. № 7. С. 15–21.



## References

1. Turusov V. I., Garmashov V. M., Bogatykh O. A., Baliunova E. A. The role of winter wheat predecessors in crop rotation under conditions of the Central Chernozem Region // *Agrarian Science*. 2017. No. 11–12. P. 10–11.
2. Dudkin I. V., Dudkina T. A. Effect of biologization factors of crop farming on weed infestation of winter wheat // *Zemledelie*. 2014. No. 3. P. 41–43.
3. Breskina G. M., Chuyan N. A. Influence of biologization techniques on crop yields // *Zemledelie*. 2020. No. 3. P. 30–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10308.
4. Saikia R., Sharma S., Thind H.S., Sidhu H.S. Temporal changes in biochemical indicators of soil quality in response to tillage, crop residue and green manure management in a rice-wheat system // *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 103. P. 383–394. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.04.035.
5. Cherkasov G. N., Akimenko A. S., Dudkin I. V. [et. al.] *Methods of optimization of crop rotations and the structure of arable land use*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences, 2004. 76 p.
6. Dudkin V. M., Dudkin I. V. Ways to strengthen the role of crop rotation as a biological factor in modern farming systems // *Conservation Farming in Russia*. All-Russia Scientific Conference devoted to the 45th Anniversary of All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control. Kursk: FSBSI VNIIZiZPE, 2015. P. 109–112.
7. Gilev S. D., Tsymbalenko I. N., Bastrychikina O. S. Cultivation of crops without chemization means in grain-fallow rotations // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014. No. 6 (124). P. 6–10.
8. Toygildin A. L., Morozov V. I., Podsevalov M. I. Biologization of crop rotations and quality of spring wheat grain in the conditions of the forest-steppe of the Volga region // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019. No. 2 (46). P. 58–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-58-64.
9. Zhang Yu., Dai X., Jia D., Li H., Wang Y., Li C., Xu H., He M. Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and breadmaking quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilisation rates // *European Journal of Agronomy*. 2016. Vol. 73. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.eja.2015.11.015.
10. Götze Ph., Rücknagel J., Wensch-Dorendorf M., Märlander B., Christen O. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years // *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 82. P. 50–59. DOI: 10.1016/j.eja.2016.10.003.
11. Loshakov V. G. *Green fertilizer in agriculture in Russia*. Moscow: VNIIA, 2015. 300 p.
12. Aytemirov A. A., Khalilov M. B., Babayev T. T., Amiraliev Z. G. Impact of green manure on crop yield of cereals in conditions of irrigation of the Tersko-Sulak subprovinces // *South of Russia: ecology, development*. 2018. Vol. 13. No. 2. P. 144–155. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-2-144-155.
13. Dospekhov B. A. *Methods of field research*. Moscow: Kolos, 1985. 416 p.
14. Sukhanovsky Yu. P., Akimenko A. S., Dudkina T. A., Prushchik A. V. The use of mathematical statistics methods to increase the informativity of crops yield data in crop rotations of multifactor field experiment // *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal (International Agricultural Journal)*. 2020. No. 6 (378). P. 94–97. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-16124.
15. Deriglazova G. M., Boeva N. N. Dynamics of weather conditions in Kursk Region over the last 50 years // *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 2020. No. 7. P. 15–21.

UDC 631.5/.9:631.559:633.1«324»

Dudkina T. A.

### **INFLUENCE OF DIFFERENT CROP ROTATIONS, RATES OF MINERAL FERTILIZERS AND WEATHER CONDITIONS ON THE YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION**

**Summary.** *High crop productivity is an important task in modern farming systems. The aim of the research was to study the influence of crop rotations, rates of mineral fertilizers and weather conditions on the yield and quality of winter wheat grain in the Central Chernozem Region. The studies were carried out on the experimental fields of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Agricultural Kursk Research Center”, triple replication. Crop – winter wheat variety “Sintetik”. Soil – typical heavy loamy chernozem. Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) in 2018 was 0.90; in 2019 – 0.63; in 2020 – 0.95. The following factors were studied: 1) crop rotation (grain-and-fallow row-crop rotation with black fallow and with green manured fallow, field crop rotation); 2) rates of mineral fertilizers (without fertilization, N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>, N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>100</sub> kg of active ingredient per hectare). The highest yield of winter wheat grain*

was obtained in 2020 in grain-and-fallow row-crop rotation with green manured fallow (7.00 t/ha); in 2018 and 2019 – in the crop rotation with black fallow (4.71 and 3.90 t/ha, respectively). An increase in the applied fertilizer rate was accompanied by the 3.1-41.0 % yield increment. Hectolitre weight (or weight per unit volume) of winter wheat grain in crop rotations with black and green manured fallow was 5–7 g more compared to the field crop rotation. Growing winter wheat in the field of green manured fallow provided a higher content of gluten (by 3.1 and 4.7 %) and crude protein (by 1.1–1.7 %) in the grain compared to other preceding crops. Increased dosage of fertilizers led to the improvement of the aforementioned indicators. In the field crop rotation, the highest starch content (67.1 %) was noted. This indicator was the lowest in the variant with green manured fallow – 65.7 %. Thus, under favorable moistening conditions, the best indicators of winter wheat yield and grain quality were achieved when the crop was grown in the grain-and-fallow row-crop rotation with green manured fallow; in the context of lack of precipitation – grain-and-fallow row-crop rotation with black fallow.

**Keywords:** winter wheat (*Triticum aestivum* L.), crop rotation, mineral fertilizers, meteorological conditions, yield, grain quality.

Дудкина Татьяна Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, ФГБНУ «Курский Федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70 б; e-mail: dt5dt@mail.ru.

Dudkina Tatyana Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of crop rotations and adaptive agricultural technologies, FSBSI “Federal Agricultural Kursk Research Center”; 70 b, Karl Marx str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: dt5dt@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 25.12.2021.*

*Дата принятия к печати – 10.03.2022.*

УДК 633.81:57.085.2  
EDN GHGGXU

Егорова Н. А., Ставцева И. В.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭМБРИОКУЛЬТУРЫ ДЛЯ ОТБОРА УСТОЙЧИВЫХ К ОСМОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ ФОРМ ШАЛФЕЯ МУСКАТНОГО *IN VITRO*

ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Важнейшей задачей селекции растений является создание высокопродуктивных сортов, устойчивых к абиотическим стрессовым факторам среды, и в частности, к засухе. Это касается и одного из широко распространенных на юге России эфиромасличных растений – шалфея мускатного. Для решения многих проблем селекции в настоящее время активно используются биотехнологические методы. Одним из таких приемов является клеточная селекция *in vitro*, позволяющая проводить направленный отбор генотипов с заданными признаками. Цель работы – изучение особенностей действия осмотического стресса на развитие изолированных зародышей сортов и образцов шалфея мускатного для разработки клеточной технологии создания устойчивых к этому стрессовому фактору форм *in vitro*. В исследованиях использовали сорта и образцы шалфея (*Salvia sclarea* L.), различающиеся по полевой засухоустойчивости. Эксплантами служили зрелые зиготические зародыши, которые культивировали на питательных средах Мурасиге и Скуга (МС), дополненных осмотиками (NaCl, маннит, сорбит, сахароза) в различных концентрациях. В контроле зародыши культивировали на среде МС. Показано, что культивирование зародышей трех сортов (С-785, Ай-Тодор и Тайган) на средах с введением 0,9 % NaCl, 4,0–5,0 % маннита или сорбита и 7,0 % сахарозы позволило дифференцировать сорта по устойчивости к осмотическому стрессу. В следующем опыте проведен анализ развития изолированных зародышей 10 сортов и образцов шалфея (с коэффициентами засухоустойчивости от 22,5 до 73,5 %) на среде, дополненной сублетальной концентрацией маннита (4,5 %). При этом выявлено снижение по сравнению с контролем от 1,4 до 14,5 раз всех изученных параметров – частоты прорастания зародышей и образования проростков, длины побега и корня. Максимальные коэффициенты корреляции (0,76–0,79) установлены между полевой засухоустойчивостью генотипов и частотой развития проростков на среде с добавлением маннита. Проведенные исследования показали перспективность использования разработанной селективной системы для получения или оценки *in vitro* устойчивых к абиотическому стрессу форм шалфея.

**Ключевые слова:** *Salvia sclarea* L., селекция *in vitro*, осмотический стресс, эмбриокультура.

**Для цитирования:** Егорова Н. А., Ставцева И. В. Использование эмбриокультуры для отбора устойчивых к осмотическому стрессу форм шалфея мускатного *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 41–56. EDN: GHGGXU.

**For citation:** Yegorova N. A., Stavtzeva I. V. The use of embryo culture for the selection clary sage forms resistant to osmotic stress *in vitro* // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 41–56. EDN: GHGGXU.

### Введение

Одним из наиболее распространенных, действующих на растения абиотических стрессовых факторов, является засуха. Это явление, обычно

возникающее из-за неблагоприятных метеорологических условий, приводит к почвенному и воздушному водному дефициту у растений. В связи с глобальными изменениями климата в последние десятилетия изучению действия данного лимитирующего фактора с использованием физиологических, биохимических, молекулярно-генетических методов уделяется большое внимание [1, 2]. Создание засухоустойчивых генотипов сельскохозяйственных культур, а также их оценка особенно актуальны для южных регионов России.

Для изучения действия абиотических стрессов на растения и получения устойчивых генотипов актуально использование методов культивирования *in vitro*, которые обеспечивают контролируемые условия анализа лимитирующих факторов на уровне отдельных органов, тканей и клеток [3, 4]. Клеточная селекция *in vitro*, позволяющая проводить направленный отбор генотипов с заданными признаками, основана на общих механизмах устойчивости для целых растений и изолированных клеток [2, 5]. Данный метод позволяет не только экономить время и ресурсы при создании доноров устойчивости, но и ускорить оценку селекционного материала. Однако, наряду со многими преимуществами, эта клеточная технология имеет и ряд существенных ограничений: необходимый признак должен моделироваться *in vitro*, механизмы адаптации отдельных клеток и всего организма к стрессу могут быть разными, выделенные в селективных условиях резистентные линии часто теряют морфогенетический потенциал, а растения-регенеранты могут не проявить устойчивость при дальнейшем размножении и выращивании в поле и др. [6]. Особенно это касается такого сложного признака как засухоустойчивость, который контролируют многие гены [2].

При анализе работ по клеточной селекции к абиотическим стрессам практически нельзя найти двух одинаковых схем отбора *in vitro*. Применяемые методические приемы зависят не только от стрессового фактора и степени его изученности, но и от вида растения, особенностей развития изолированных органов и индукции процессов каллусо- и морфогенеза, степени разработки биотехнологических методик. Важную роль в селекции играет выбор объекта для отбора *in vitro*. Одним из наиболее используемых является каллусная культура, которую с успехом применяли при скрининге устойчивых к абиотическим стрессовым факторам генотипов у пшеницы, сахарной свеклы, табака, люцерны, сосны, картофеля, риса, кукурузы, лаванды и др. [5, 7–12]. При этом в некоторых исследованиях отмечено преимущество применения морфогенных каллусов, которые часто проявляют большую устойчивость к стрессовым обработкам, и из которых легче получать растения-регенеранты [3, 12, 13]. Применение суспензионной культуры позволяет с большей вероятностью выделить единичные устойчивые клетки, но, так как она достаточно сложна в экспериментальных работах, этот объект используется гораздо реже [5, 8, 9]. В последние годы для отбора или оценки устойчивости *in vitro* нередко стали культивировать изолированные органы – зрелые или незрелые зародыши [8, 12, 14], микрорастения [15–17], апексы побегов [18].

Обычно при отборе засухоустойчивых генотипов применяют прямую клеточную селекцию, при которой в питательную среду вводят селективный фактор, с помощью которого моделируется действие стресса. Эффект осмотического стресса достигается при культивировании тканей или органов на средах с разными стрессовыми агентами: ионными и проникающими в клетку – NaCl, KCl [3, 7, 10, 16, 18], неионными и проникающими – сахарами: маннитом, сорбитом, сахарозой [4, 7, 9, 11] и непроникающим – высокомолекулярным (6000–10000) полиэтиленгликолем (ПЭГ) [4, 6, 14, 17]. В ряде работ исследовали действие на развитие изолированных

органов или каллусов нескольких осмотиков, например, NaCl и маннита у *Salicornia persica* [7], маннита и ПЭГ – у пшеницы [6].

Что касается длительности действия стрессового фактора, то существуют различные подходы. В одних работах исследователи использовали однократный отбор с небольшой экспозицией стрессового фактора, в частности, у кукурузы и пшеницы применили селекцию на фоне ПЭГ и NaCl с недифференцированным каллусом в течение пассажа [12]. В ряде случаев отбор проводят в течение нескольких пассажей, часто с повышением концентрации осмотика. Например, у сахарной свеклы каллусы культивировали три пассажа на питательной среде, увеличивая содержание NaCl от 1,5 до 2,5 % [9]. У березы лучший селективный эффект при дифференциации солеустойчивых клонов получен при поэтапном культивировании микропобегов на питательных средах с возрастающей концентрацией NaCl (0,2–1,0 %) и снятием селективной нагрузки после каждого пассажа [16]. Иногда используют более сложные схемы отбора со сменой объекта селекции. Например, у ячменя отбор солеустойчивых форм проводили на уровне семян, а затем полученных каллусных культур [8], а у кориандра в клеточной селекции на устойчивость к низкотемпературному стрессу вначале использовали каллусы, а затем эмбриокультуры [12].

Одним из наиболее распространенных на Юге России эфиромасличных растений является шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.) [19]. Ценность этой культуры определяется, прежде всего, наличием в его соцветиях эфирного масла, которое используется в парфюмерно-косметической и пищевой промышленности, в табачном производстве. Применение шалфейного масла в медицине обусловлено его противовоспалительным, противогрибковым, обезболивающим, антибактериальным, антиоксидантным, иммуномодулирующим и другими ценными свойствами [20]. В ФГБУН «НИИСХ Крыма» в разные годы созданы несколько сортов шалфея [19], тем не менее, для повышения эффективности селекции целесообразно привлечение биотехнологических методов, что было показано при создании сорта Селинж [21].

Исследования в области клеточной инженерии разных видов шалфея касаются, главным образом, оптимизации методик клонального микроразмножения для *S. sclarea*, *S. officinalis*, *S. guaranitica*, *S. chamelaeagnea*, *S. santolinifolia*, *S. nemorosa* и других видов [22–25]. Показана возможность биосинтеза некоторых вторичных метаболитов (фенольных соединений, розмариновой кислоты, склареола, компонентов эфирного масла) в культуре *in vitro* у *S. miltiorrhiza*, *S. officinalis*, *S. viridis*, *S. sclarea*, *S. fruticosa* [24–27]. Также имеются сведения о получении каллусных культур из эксплантов листьев, стебля, почек, сегментов проростка [12, 22, 28]. В ряде работ продемонстрирована морфогенетическая способность каллусов и определены условия получения растений-регенерантов [12, 28–30].

Несмотря на то, что шалфей является засухоустойчивым растением, степень его толерантности к данному стрессовому фактору ограничена, поэтому получение устойчивых генотипов весьма перспективно при создании высокоурожайных сортов. Исследований по влиянию осмотического стресса на культуру изолированных тканей и органов шалфея крайне мало. Hannibal T. Musarurwa et al. при изучении возможности изменения компонентного состава эфирного масла у культивируемых *in vitro* микрорастений *Salvia stenophylla* (Burch. ex Benth.) варьировали содержание в питательной среде гормонов и макроэлементов, а также добавляли осмотики. При этом невысокие концентрации ПЭГ-6000 (5 %) и сорбита (2 %) привели к изменению содержания многих летучих соединений и отрицательно влияли на рост, состояние микрорастений и их укоренение *in vitro* [31]. Проведены

работы по получению трансгенных растений лекарственного вида *Salvia miltiorrhiza* с целью выяснения механизмов стрессоустойчивости и получения толерантных к засухе генотипов. Так, трансгенные растения *S. miltiorrhiza* с перенесенным из пшеницы геном TaLEA1 продемонстрировали лучший рост на питательных средах с добавлением 1 % NaCl и 8 % ПЭГ-6000, что показало важную роль этого гена в повышении соле- и засухоустойчивости шалфея [32]. Судя по доступной литературе, исследования по клеточной селекции у *S. sclarea* ограничены нашими предыдущими публикациями по разработке методики селекции на устойчивость к осмотическому стрессу, в которых рекомендовался двухэтапный отбор *in vitro* [33].

**Цель исследований** – изучение особенностей действия осмотического стресса на развитие изолированных зародышей сортов и образцов шалфея мускатного для разработки клеточной технологии создания устойчивых к этому стрессовому фактору форм *in vitro*.

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

В исследованиях использовали сорта и образцы шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.): сорта С-785, Ай-Тодор, Тайган, а также семенное потомство регенерантов, полученных ранее из каллусов, сорта С-785 (R<sub>3</sub>-5, R<sub>3</sub>-4-9, R<sub>2</sub>-9-38), Ай-Тодор (R<sub>2</sub>-104, R<sub>3</sub>-2-15, R<sub>3</sub>-3-1) и Тайган (R<sub>3</sub>-101), также образцов, выделенных при низкотемпературном стрессе в эмбриокультуре *in vitro* (Т-09-1, Т-09-4, А-09-41, А-09-42). Эксплантами служили зиготические зародыши, выделенные из зрелых семян. В работе использовали общепринятые в биотехнологии методы культуры органов и тканей растений [34], а также методы, разработанные нами ранее для шалфея [33].

Для введения в культуру *in vitro* семена предварительно стерилизовали в течение 1 мин в 50,0 % растворе препарата «Брадофен» 10Н (ФЛОРИН АО, Венгрия) и трижды промывали автоклавированной дистиллированной водой. Асептические работы проводили в условиях ламинарного бокса БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2 (Россия). Зародыши выделяли под стереоскопическим микроскопом МБС-10 (ЛОМО, Россия) и помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (МС) [34]. В контроле использовали безгормональную среду МС, а в опытных вариантах для моделирования осмотического стресса в среды добавляли NaCl, маннит, сорбит, сахарозу (АО «Вектон», Россия) в различных концентрациях (от 0,2 до 9,0 %). Культивирование зародышей и развивающихся микрорастений проводили в течение 40–50 сут в пробирках с 10 мл агаризованной питательной среды при 26 ± 2 °С, относительной влажности воздуха 70 %, освещенности 2–3 клк с 16 часовым фотопериодом.

При получении устойчивых к низкотемпературному стрессу образцов изолированные зародыши в контроле культивировали на безгормональной среде МС в культуральной комнате при выше описанном режиме. Моделирование холодного стресса проводили в 3 этапа: 1) закаливание при температуре 2–4 °С, 12 сут; 2) промораживание – при снижении температуры от 0 до –14 °С с различной экспозицией (1 вариант: от 0 до –6...–8 °С, 3 сут; 2 вариант: от 0 до –8...–10 °С, 5 сут; 3 вариант: от 0 до –8...–10 °С, 7 сут; 4 вариант: от 0 до –12...–14 °С, 7 сут); 3) оттаивание при 2–4 °С, 2 сут. После холодного стресса зародыши пересаживали на свежую питательную среду МС и переносили в культуральную комнату.

Анализ развития культивируемых зародышей проводили через 10 и 30 сут после введения *in vitro*. На 10-е сутки культивирования определяли частоту прорастания зародышей (ЧПЗ, %), а на 30-е сутки – частоту развившихся проростков

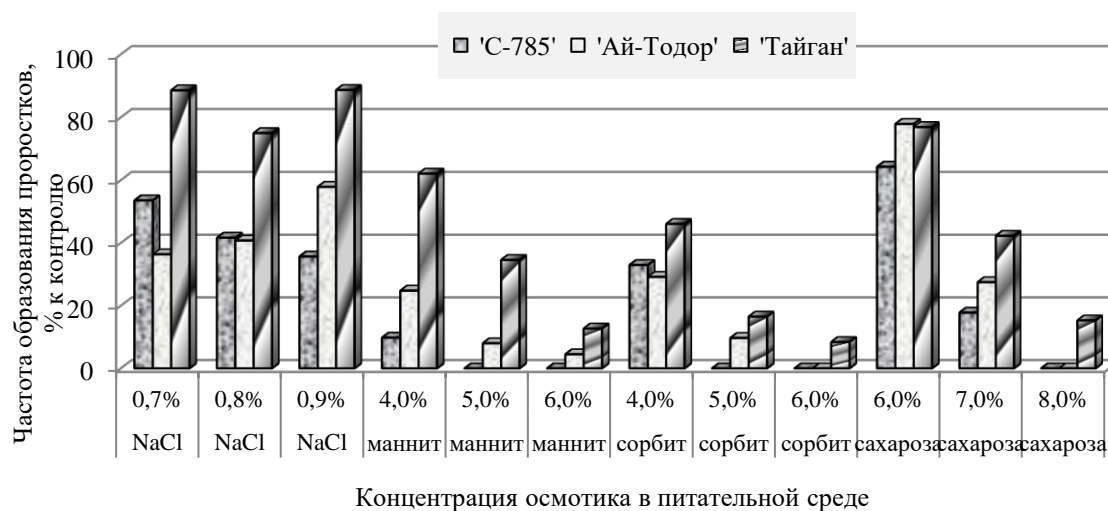
(ЧРП, %), длину побега и корня. ЧРП определяли, как отношение числа полноценных проростков к общему числу эксплантированных зародышей.

Полученные микрорастения с корнями адаптировали *ex vitro* в смеси торфа и земли (1:1). Подростшие растения с шестью-восемью листьями пересаживали в вазоны со смесью почвы и торфа, а затем – в полевые условия, в питомник исходного материала, где выращивали в научном севообороте отдела эфиромасличных и лекарственных культур ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (Белогорский район, п. Крымская Роза) в течение двух лет до получения семян. Коэффициент засухоустойчивости у растений сортов и образцов в полевых условиях (2016–2018 гг.) рассчитывали по показателям водного обмена [35].

Статистическую обработку данных осуществляли согласно общепринятым методам математической статистики при помощи стандартного пакета документов Microsoft Office Excel (2010). Достоверность отличий оценивали по критерию Стьюдента при  $p \leq 0,05$ . В таблицах и на графиках представлены средние значения и их стандартные ошибки.

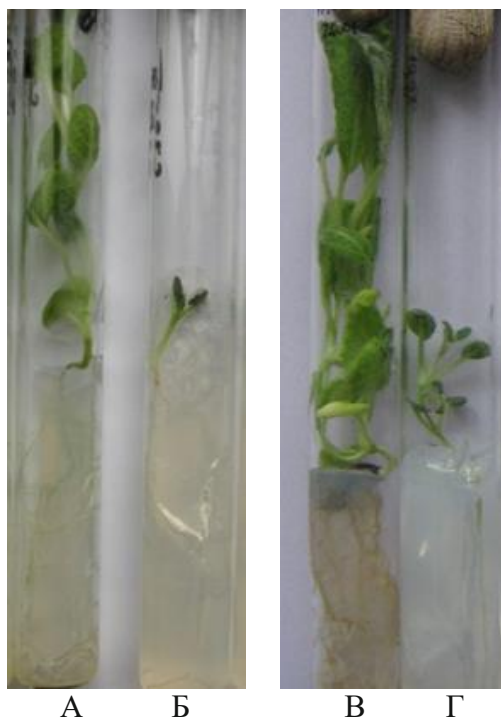
### Результаты и их обсуждение

Ранее нами была разработана методика двухэтапного отбора в эмбриокультуре *in vitro* шалфея форм, устойчивых к действию осмотического стресса, при использовании которой получены перспективные образцы [12]. С целью дальнейшего усовершенствования этой методики и оптимизации селективных агентов изучена эффективность отбора *in vitro* устойчивых к засухе форм шалфея при использовании четырех типов осмотически активных веществ при разных концентрациях – NaCl (0,7–0,9 %), маннита (4,0–6,0 %), сорбита (4,0–6,0 %) и сахарозы (6,0–8,0 %). При выборе в данном опыте концентрации селективных агентов учитывали наши предварительные исследования и использовали дозы, близкие к сублетальным. Зиготические зародыши выделяли из семян сортов С-785, Ай-Тодор и Тайган, различающихся по полевой засухоустойчивости (коэффициенты засухоустойчивости соответственно 27,1; 42,0 и 59,9 %) [12]. Основным критерием оценки реакции изучаемых генотипов на действие осмотического стресса, представленным на рисунке 1, была частота образования проростков (% к контролю).



**Рисунок 1 – Частота образования проростков (% к контролю) при культивировании изолированных зародышей шалфея трех сортов в зависимости от типа и концентрации осмотика в питательной среде МС**

Как видно из представленных данных, во всех вариантах опыта на средах с добавлением осмотиков отмечено уменьшение частоты образования проростков по сравнению с контролем. Снижение данного параметра зависело от типа соединения, используемого в качестве селективного агента, и сорта. Сравнение изучаемых сортов показало, что у наиболее засухоустойчивого сорта Тайган частота прорастания зародышей почти во всех вариантах опыта была выше по сравнению с 'С-785' и 'Ай-Тодор'. Степень развития проростков (длина побега и корня) на средах с разными осмотиками также были выше у сорта Тайган (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Развитие проростков шалфея сорта С-785 из изолированных зародышей на питательных средах МС (А) и МС с 4,0 % маннита (Б) и сорта Тайган на среде МС (В) и МС с 4,0 % маннита (Г) (40 сут культивирования)**

Культивирование зародышей на средах с 0,9 % NaCl, 4,0–6,0 % маннита или сорбита и 7,0–8,0 % сахарозы позволяет дифференцировать генотипы по устойчивости к действию изученных осмотиков. Так, на питательной среде МС с добавлением 0,9 % NaCl у сорта Тайган частота образования проростков была в 2,3 и 1,3 раза выше, чем у С-785 и Ай-Тодор соответственно. На средах с наибольшими в данном опыте концентрациями осмотиков (6,0 % сорбита и маннита или 8,0 % сахарозы) проростки были получены в основном у сорта Тайган. Все проанализированные осмотики при определенных концентрациях позволяли выявить различия между изучаемыми генотипами: частота образования проростков у сорта, более устойчивого к засухе, была выше, чем у менее засухоустойчивого. Тем не менее, более четкие различия отмечены при добавлении в питательную среду 4,0 % маннита. Анализируемый параметр у сорта Тайган в такой селективной системе был выше, чем в эмбриокультуре у С-785 и Ай-Тодор в 2,5 и 6,3 раза соответственно. Поэтому с целью отбора (или оценки) засухоустойчивых форм и лучшей дифференциации генотипов шалфея более перспективно использовать маннит (4,0–5,0 %), хотя можно применять и сорбит. Как уже отмечено выше, в исследованиях по клеточной селекции используют различные осмотически



активные вещества, при этом их концентрации в значительной степени зависят от вида растения и применяемого объекта селекции. О. В. Дубровная при проведении клеточной селекции пшеницы на устойчивость к водному дефициту *in vitro* сравнивала действие ПЭГ и маннита. При этом установлено, что селективная система с введением маннита была эффективнее, так как обеспечивала более полную элиминацию чувствительных клеток и высокую жизнеспособность развивающихся растений-регенерантов [6].

При моделировании солевого стресса для каллусных культур сахарной свеклы использовали концентрацию NaCl до 2,5 % [9], у каллусов сосны [10] и у микроклонов березы – до 1,0 % [16], а у ячменя – 2,0 % [8]. У герани эфиромасличной сублетальная концентрация NaCl для неморфогенного каллуса составила 0,75 %, а для морфогенного – 1,0 % [12]. У лаванды для отбора устойчивых к осмотическому стрессу каллусных линий целесообразно добавлять в питательную среду 8,0–10,0 % маннита [12]. В то же время каллусы двух видов галофитов *Salicornia persica* и *S. europaea* культивировали на средах, содержащих до 3,5 % NaCl или до 18,2 % маннита [7].

В следующем эксперименте изучали действие осмотического стресса с привлечением разных генотипов шалфея, различающихся по засухоустойчивости. При этом исследовали развитие зиготических зародышей, изолированных из семян трех сортов (С-785, Ай-Тодор и Тайган) и семи регенерантов R<sub>2</sub>–R<sub>3</sub> (R<sub>3</sub>-5, R<sub>3</sub>-4-9, R<sub>2</sub>-9-38, R<sub>2</sub>-104, R<sub>3</sub>-2-15, R<sub>3</sub>-3-1, R<sub>3</sub>-101), полученных ранее в каллусной культуре этих сортов. В полевых условиях для растений изучаемых генотипов определены коэффициенты засухоустойчивости, которые варьировали от 22,5 (R<sub>3</sub>-3-1) до 73,5 % у сорта Тайган, который обладал максимальной (из изученных генотипов) устойчивостью к этому стрессу. Для имитации засухи в условиях *in vitro* в безгормональную питательную среду МС добавляли маннит в концентрации 4,5 %, который на основании предыдущего опыта обеспечивал сублетальное действие осмотического стресса. Развитие изолированных зародышей оценивали по нескольким параметрам – частоте прорастания зародышей (таблица 1), частоте образования проростков (таблица 2), длине побега (таблица 3) и длине корня (таблица 4). Для более адекватной оценки эти параметры также приведены в % к контролю (при культивировании зародышей на среде МС без маннита).

**Таблица 1 – Влияние генотипа и маннита в питательной среде на частоту прорастания зародышей в эмбриокультуре *in vitro* шалфея мускатного**

Сорт, образец	Коэффициент засухоустойчивости, %	Частота прорастания зародышей, %		Частота прорастания зародышей, % к контролю
		среда МС	среда МС + 4,5 % маннита	
С-785	29,5 ± 0,3	75,0 ± 3,8	12,5 ± 0,8	16,7
R <sub>3</sub> -5	28,5 ± 0,9	50,0 ± 1,5	7,9 ± 1,2	15,8
R <sub>3</sub> -4-9	67,1 ± 0,2	63,3 ± 8,2	37,9 ± 2,5	59,9
R <sub>2</sub> -9-38	55,8 ± 0,9	66,7 ± 4,6	23,3 ± 1,8	34,9
Ай-Тодор	55,4 ± 0,6	87,5 ± 2,6	24,3 ± 3,5	27,8
R <sub>2</sub> -104	35,4 ± 1,9	100,0 ± 0,0	30,0 ± 1,4	30,0
R <sub>3</sub> -2-15	29,6 ± 0,8	48,3 ± 3,6	20,0 ± 1,2	41,4
R <sub>3</sub> -3-1	22,5 ± 4,3	66,7 ± 8,7	23,3 ± 2,4	34,9
Тайган	73,5 ± 3,1	95,6 ± 5,2	70,0 ± 6,1	73,2
R <sub>3</sub> -101	39,9 ± 0,7	83,3 ± 3,7	20,0 ± 2,6	24,0
r		0,38	0,77*	0,74*

*Примечание.* \* достоверные значения коэффициента корреляции при  $p \leq 0,05$ .

**Таблица 2 – Влияние генотипа и маннита в питательной среде на частоту образования проростков в эмбриокультуре *in vitro* шалфея мускатного**

Сорт, образец	Коэффициент засухоустойчивости, %	Частота образования проростков, %		Частота образования проростков, % к контролю
		среда МС	среда МС + 4,5 % маннита	
С-785	29,5 ± 0,3	72,4 ± 5,6	6,3 ± 1,1	8,7
R <sub>3</sub> -5	28,5 ± 0,9	45,0 ± 3,2	3,1 ± 0,2	6,9
R <sub>3</sub> -4-9	67,1 ± 0,2	54,5 ± 6,4	29,8 ± 1,0	54,7
R <sub>2</sub> -9-38	55,8 ± 0,9	52,6 ± 5,0	18,2 ± 1,2	34,6
Ай-Тодор	55,4 ± 0,6	76,4 ± 2,4	17,4 ± 0,9	22,8
R <sub>2</sub> -104	35,4 ± 1,9	88,9 ± 9,6	22,3 ± 1,6	25,1
R <sub>3</sub> -2-15	29,6 ± 0,8	36,3 ± 2,5	11,2 ± 1,1	30,8
R <sub>3</sub> -3-1	22,5 ± 4,3	54,2 ± 5,5	17,8 ± 1,6	32,8
Тайган	73,5 ± 3,1	86,4 ± 6,8	52,6 ± 3,5	60,9
R <sub>3</sub> -101	39,9 ± 0,7	80,8 ± 6,5	18,4 ± 1,3	22,8
г		0,32	0,79*	0,76*

*Примечание.* \* достоверные значения коэффициента корреляции при  $p \leq 0,05$ .

**Таблица 3 – Влияние генотипа и маннита в питательной среде на длину побегов в эмбриокультуре *in vitro* шалфея мускатного**

Сорт, образец	Коэффициент засухоустойчивости, %	Длина побега, мм		Длина побега, % к контролю
		среда МС	среда МС + 4,5 % маннита	
С-785	29,5 ± 0,3	37,4 ± 3,5	4,1 ± 0,3	11,0
R <sub>3</sub> -5	28,5 ± 0,9	33,7 ± 2,7	3,2 ± 0,2	9,5
R <sub>3</sub> -4-9	67,1 ± 0,2	34,2 ± 3,2	3,7 ± 0,2	10,8
R <sub>2</sub> -9-38	55,8 ± 0,9	40,7 ± 3,8	4,1 ± 0,3	10,1
Ай-Тодор	55,4 ± 0,6	42,3 ± 4,0	4,5 ± 0,3	10,6
R <sub>2</sub> -104	35,4 ± 1,9	40,9 ± 3,4	4,2 ± 0,3	10,3
R <sub>3</sub> -2-15	29,6 ± 0,8	42,5 ± 4,3	4,4 ± 0,4	10,4
R <sub>3</sub> -3-1	22,5 ± 4,3	34,5 ± 2,7	3,2 ± 0,3	9,3
Тайган	73,5 ± 3,1	41,8 ± 3,5	4,9 ± 0,4	11,7
R <sub>3</sub> -101	39,9 ± 0,7	43,5 ± 3,9	4,4 ± 0,3	10,1
г		0,24	0,51	0,68*

*Примечание.* \* достоверные значения коэффициента корреляции при  $p \leq 0,05$ .

**Таблица 4 – Влияние генотипа и маннита в питательной среде на длину корня проростков в эмбриокультуре *in vitro* шалфея мускатного**

Сорт, образец	Коэффициент засухоустойчивости, %	Длина корня проростка, мм		Длина корня проростка, % к контролю
		среда МС	среда МС + 4,5 % маннита	
С-785	29,5 ± 0,3	24,6 ± 1,5	5,5 ± 1,4	22,4
R <sub>3</sub> -5	28,5 ± 0,9	18,2 ± 1,2	5,0 ± 0,8	27,5
R <sub>3</sub> -4-9	67,1 ± 0,2	23,6 ± 2,8	7,5 ± 1,0	31,8
R <sub>2</sub> -9-38	55,8 ± 0,9	20,5 ± 1,5	5,1 ± 1,2	24,9
Ай-Тодор	55,4 ± 0,6	20,4 ± 2,2	4,8 ± 1,9	23,5
R <sub>2</sub> -104	35,4 ± 1,9	25,8 ± 3,2	6,0 ± 1,3	24,2
R <sub>3</sub> -2-15	29,6 ± 0,8	24,2 ± 2,1	5,5 ± 1,6	22,7
R <sub>3</sub> -3-1	22,5 ± 4,3	18,8 ± 1,5	3,0 ± 0,4	15,9
Тайган	73,5 ± 3,1	28,6 ± 1,8	8,2 ± 0,5	28,7
R <sub>3</sub> -101	39,9 ± 0,7	24,4 ± 1,7	5,0 ± 1,0	20,5
г		0,40	0,74*	0,70*

*Примечание.* \* достоверные значения коэффициента корреляции при  $p \leq 0,05$ .

Как следует из полученных данных, введение в питательную среду маннита привело к существенному снижению всех изученных показателей по сравнению с контролем. Так, частота прорастания зародышей при осмотическом стрессе снизилась в 1,4–6,3 раз и варьировала в зависимости от генотипа от 7,9 до 70,0 %. По количеству образующихся проростков (от 3,1 до 52,6 %) отмечено еще большее снижение (в 1,6–14,5 раз) при сравнении с развитием изолированных зародышей на питательной среде без введения маннита.

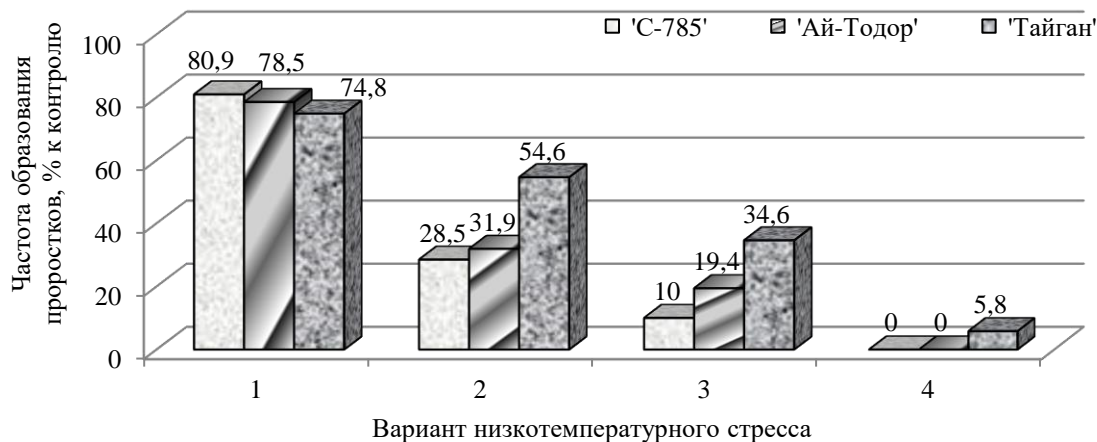
Развивающиеся из зародышей проростки шалфея в селективных условиях существенно отличались от контрольных не только более мелкими размерами, но и морфологией. В частности, у них отмечены более мелкие листья, а у некоторых – слабое пожелтение листовых пластинок. При анализе длины побега у проростков выявлено значительное снижение этого параметра по сравнению с контрольными вариантами в 8,5–10,8 раз. Однако у разных сортов и образцов длина побега снижалась почти одинаково и составила 9,3–11,7 % от контроля. Угнетение развития корня у проростков при действии стресса *in vitro* проявилось в меньшей степени. У разных генотипов длина основного корня была меньше, чем в контрольном варианте в 3,1–6,3 раз и изменялась у сортов и образцов от 3,0 до 8,2 мм.

Особый интерес в данном эксперименте представляет сравнительный анализ развития изолированных зародышей у разных сортов и образцов шалфея, различающихся по степени полевой засухоустойчивости. Наибольшие коэффициенты корреляции выявлены между степенью засухоустойчивости генотипов и частотой прорастания зародышей или развития проростков на среде с добавлением осмотика (а также и в % к контролю) – от 0,74 до 0,79 (см. таблицы 1, 2). Достаточно высокая достоверная зависимость отмечена между коэффициентами засухоустойчивости и длиной корня проростков в эмбриокультуре – 0,70–0,74 (см. таблицу 4). Связь между длиной побегов у развившихся из изолированных зародышей проростков и засухоустойчивостью была гораздо слабее. Достоверный коэффициент корреляции отмечен только между длиной побега на среде с введением маннита в % к контролю (0,68).

Таким образом, чем выше коэффициент засухоустойчивости у изученных сортов и образцов в полевых условиях, тем лучше развивались зародыши в селективных условиях *in vitro*. Установленные корреляционные связи не только являются основой использования эмбриокультуры для проведения отбора форм, устойчивых к засухе, но и позволяют косвенно оценивать селекционный материал шалфея на засухоустойчивость. При этом наиболее надежным параметром оценки степени устойчивости в эмбриокультуре, на наш взгляд, является частота развития проростков на среде с добавлением сублетальной концентрации осмотика. Хотя остальные морфометрические параметры также можно использовать для дополнительной характеристики изолированных культур.

В последние годы появляется все больше публикаций, свидетельствующих о возможности получения с использованием клеточной селекции *in vitro* генотипов, устойчивых к нескольким стрессовым факторам окружающей среды [6]. Такие исследования основаны на том, что формирование у растений устойчивости к ряду абиотических стрессов (осмотическому, солевому, температурному) на уровне тканей и клеток имеет некоторые сходные механизмы [1, 2, 9]. Поэтому отбор в условиях *in vitro* на резистентность к одному неблагоприятному фактору может приводить к повышению устойчивости и к другому. Поэтому представляет интерес изучение возможности получения при отборе *in vitro* форм шалфея, устойчивых к нескольким абиотическим стрессам. Ранее, в эмбриокультуре шалфея мускатного при проведении селекции на зимостойкость при сублетальной низкотемпературной

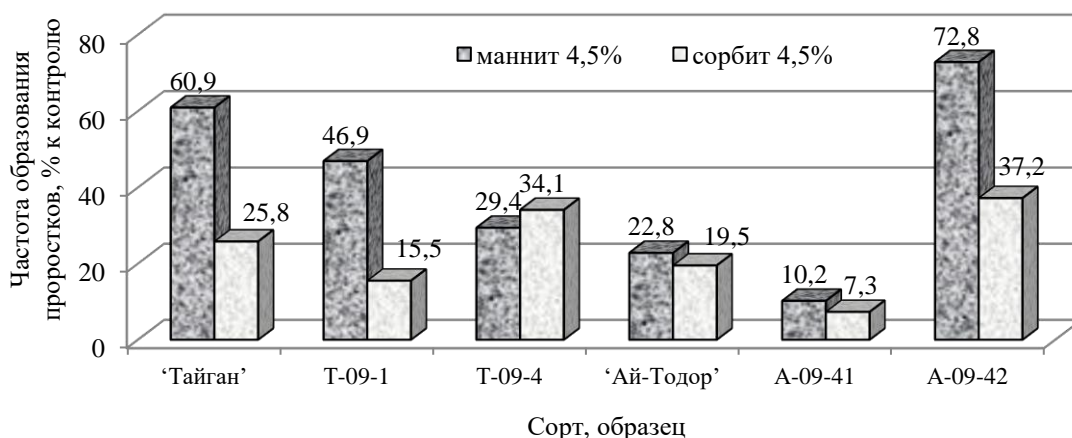
обработке (3 вариант, с промораживанием в течение 7 сут от 0 до  $-8...-10$  °С) (рисунок 3) были отобраны несколько устойчивых проростков.



**Рисунок 3 – Влияние низкотемпературного стресса на частоту образования проростков (% к контролю) в эмбриокультуре *in vitro* трех сортов шалфея мускатного**

*Примечание.* Варианты стресса указаны в материалах.

Отобранные в этом эксперименте температуроустойчивые формы были выращены в полевых условиях, и из них на второй год вегетации получены семена. Выделенные из семян зиготические зародыши культивировали на питательных средах МС, содержащих осмотики (4,5 % маннита или сорбита). В представленном опыте приводятся данные о четырех образцах, полученных в эмбриокультуре у сортов Тайган (Т-09-1 и Т-09-4) и Ай-Тодор (А-09-41 и А-09-42). На рисунке 4 приведены данные по основному параметру, по которому проводили оценку этих образцов на устойчивость к осмотическому стрессу *in vitro*, – частоте образования проростков (в % к контролю на среде МС без осмотика).



**Рисунок 4 – Влияние осмотика в питательной среде на частоту образования проростков (% к контролю) в эмбриокультуре у исходных сортов шалфея мускатного и регенерантов, полученных после низкотемпературного стресса *in vitro***

Как следует из полученных данных, по этому показателю образец А-09-42 значительно превысил исходный сорт при культивировании зародышей на селективном фоне с введением осмотиков. Так, на средах МС с добавлением 4,5 %

маннита и сорбита частота образования проростков (в % к контролю) у него была соответственно в 3,2 и в 1,9 раз выше, чем у исходного сорта Ай-Тодор. Что касается двух устойчивых к температурному стрессу образцов, полученных у сорта Тайган, то только Т-09-4 на среде с добавлением сорбита незначительно (в 1,3 раза) превысил сорт по частоте формирования проростков. Остальные два образца уступали исходным сортам по устойчивости во всех вариантах опыта. Как видно из данного опыта, только один из четырех изученных образцов шалфея, отобранных ранее в эмбриокультуре при действии низкой отрицательной температуры, проявил устойчивость к осмотическому стрессу *in vitro*.

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о возможности использования для отбора устойчивых к осмотическому стрессу форм шалфея *in vitro* селективной системы при культивировании изолированных зародышей на питательной среде МС с введением 4,0–4,5 % маннита или сорбита. При этом необходимо учитывать, что не все отобранные при клеточной селекции формы проявляют устойчивость в условиях *in vivo*, на что указывают и другие исследователи [1, 2, 4, 9]. Следует отметить, что у шалфея эффективность биотехнологии отбора засухоустойчивых генотипов целесообразно повысить, используя ранее разработанную методику клонального микроразмножения [36]. В этом случае отобранные в эмбриокультуре *in vitro* на селективном фоне единичные проростки можно быстро размножить, получив больше растений для последующих полевых испытаний. Особенно это важно, если проростки плохо развиты или имеют слабую корневую систему и поэтому могут не прижиться при адаптации *ex vitro*.

Выявленная высокая корреляция между некоторыми параметрами развития зародышей шалфея *in vitro* и полевой засухоустойчивостью свидетельствует о том, что культивирование зародышей может быть использовано также и для быстрой косвенной оценки коллекционного материала или селекционных образцов на засухоустойчивость. Такой биотехнологический метод оценки разрабатывается для ряда сельскохозяйственных видов растений, в частности, для пшеницы, ячменя, кукурузы, сахарной свеклы и др. [2, 4, 6, 9, 14].

Значительный интерес вызывает выявленная в нашей работе возможность получения при селекции *in vitro* на устойчивость к низкотемпературному стрессу форм шалфея, устойчивых и к другому абиотическому – осмотическому стрессу. И хотя частота образования таких образцов с комплексной устойчивостью может быть невысокой, тем не менее, работы в этом направлении чрезвычайно перспективны. Об этом свидетельствуют и литературные данные для других видов растений. Так, получены каллусные линии и регенеранты кормовой свеклы, устойчивые к токсину возбудителя бактериоза и к низким температурам [9]. При анализе регенерантов ячменя, отобранных на селективных средах с ионами алюминия, водорода и ПЭГ, выявлены генотипы, устойчивые не только к абиотическим стрессам (токсичности алюминия и засухе), но и к поражению фитопатогенными грибами [37]. У кукурузы проведение клеточной селекции на среде с добавлением ПЭГ позволило получить регенеранты, резистентные не только к засухе, но и засолению и низкой температуре [6].

Полученные нами данные показали перспективность использования приемов клеточной селекции для получения или оценки в условиях *in vitro* устойчивых к абиотическому стрессу форм шалфея, что может повысить эффективность селекционного процесса этого ценного эфиромасличного и лекарственного растения.

### Выводы

В работе проанализированы особенности влияния осмотического стресса на развитие изолированных зародышей *in vitro* у сортов и образцов шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.), различающихся по полевой засухоустойчивости. Показано, что культивирование зрелых зиготических зародышей трех сортов (С-785, Ай-Тодор и Тайган) на питательных средах Мурасиге и Скуга с введением 0,9 % NaCl, 4,0–5,0 % маннита или сорбита и 7,0 % сахарозы позволяло дифференцировать сорта по устойчивости к осмотическому стрессу. Анализ развития в условиях *in vitro* зародышей 10 сортов и образцов шалфея (с коэффициентами полевой засухоустойчивости от 22,5 до 73,5 %) на среде МС с добавлением сублетальной концентрации маннита (4,5 %) выявил снижение всех изученных параметров (частоты прорастания зародышей и образования проростков, длины побега и корня) по сравнению с контролем (среда МС без осмотика) от 1,4 до 14,5 раз. Максимальные коэффициенты корреляции (0,76–0,79) отмечены между полевой засухоустойчивостью генотипов шалфея и частотой развития проростков на среде с добавлением осмотика. При культивировании зародышей четырех отобранных ранее при низкотемпературном стрессе форм шалфея на среде МС с введением маннита или сорбита показано, что один образец проявил устойчивость к осмотическому стрессу. Проведенные исследования показали перспективность использования разработанной селективной системы для получения или оценки *in vitro* устойчивых к абиотическому стрессу форм шалфея.

### Литература

1. Zia Ur Rahman Farooqi, Muhammad Ashar Ayub, Muhammad Zia ur Rehman, Muhammad Irfan Sohail, Muhammad Usman, Hinnan Khalid, Komal Naz. Regulation of drought stress in plants // In book: Plant life under changing environment: responses and management. Chap. 4. Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. P. 77–104. DOI: 10.1016/C2018-1-02300-8.
2. Hanaka A., Majewska M., Jaroszuk-Scisel J. Study of the influence of abiotic and biotic stress factors on horticultural plants // Horticulturae. 2022. Vol. 8 (1). 6. DOI: 10.3390/horticulturae8010006.
3. Arzani A. Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view // In Vitro Cell. Dev. Biol.–Plant. 2008. Vol. 44. No. 5. P. 373–383. DOI: 10.1007/s11627-008-9157-7.
4. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т., Хоменко С., Гуменюк О., Харченко М., Прокопик Н. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2020. Вип. 82. С. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
5. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений. М.: Юрайт, 2020. 333 с.
6. Дубровная О. В. Селекция пшеницы *in vitro* на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам // Физиология растений и генетика. 2017. Т. 49. № 4. С. 279–292. DOI: 10.15407/frg2017.04.279.
7. Torabi S., Niknam V. Effects of iso-osmotic concentrations of NaCl and mannitol on some metabolic activity in calluses of two *Salicornia* species // In Vitro Cell. Dev. Biol.–Plant. 2011. Vol. 47. P. 734–742. DOI: 10.1007/s11627-011-9371-6.
8. Игнатова С. А. Клеточные технологии в растениеводстве, генетике и селекции возделываемых растений: задачи, возможности, разработки систем *in vitro*. Одеса: Астропринт, 2011. 224 с.
9. Дубровна О. В., Чугункова Т. В., Бавол А. В., Лялько І. І. Біотехнологічні та цитогенетичні основи створення рослин, стійких до стресів. К.: Логос, 2012. 428 с.
10. Аминова Е. Ю., Гуреев А. П., Табацкая Т. М., Машкина О. С., Попов В. Н. Генотипическая изменчивость *Pinus sylvestris* L. по признаку засухоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 1. С. 15–23. DOI: 10.18699/VJ19.456.
11. Круглова Н. Н., Сельдмирова О. А., Зинатуллина А. Е. Каллусные культуры *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139.
12. Егорова Н. А. Биотехнология эфиромасличных растений: создание новых форм и микроразмножение *in vitro*. Симферополь: ИД «Автограф», 2021. 315 с. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
13. Matheka J. M., Magiri E., Rasha A. O., Machuka J. *In vitro* selection and characterization of drought tolerant somaclones of tropical maize (*Zea mays* L.) // Biotechnology (Faisalabad). 2008. Vol. 7. No. 4. P. 641–650. DOI: 10.3923/biotech.2008.641.650.

14. Круглова Н. Н., Сельдиминова О. А., Зинатуллина А. Е. Эмбриокультура *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2 (26). С.127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127–144.
15. Zemlianukhina O., Cherkasova N., Zhuzhzhhalova T., Kalaev V. Biochemical and morphological characteristics of acid-resistant regenerants of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) // J. Agric. Sci. Technol. 2017. Vol. 7. No. 6. P. 383–392. DOI: 10.17265/2161-6256/2017.06.003.
16. Tabatskaya T. M., Mashkina O. S., Korchagin O. M. *In vitro* modeling of salinity stress for the selection of stress-tolerant birch lines // E3S Web of Conferences “Topical problems of agriculture, civil and environmental engineering, TPACEE 2020”. 2020. Art. No. 04013. DOI: 10.1051/e3sconf/202022404013.
17. Simsek Ö. Effect of drought stress in *in vitro* and drought-related gene expression in *Carrizo citrange* // Fresenius Environmental Bulletin. 2018. Vol. 27. No. 12A. P. 9167–9171.
18. Sajid Z. A., Aftab F. Amelioration of salinity tolerance in *Solanum tuberosum* L. by exogenous application of ascorbic acid // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2009. Vol. 45. P.540–549. DOI: 10.1007/s11627-009-9252-4.
19. Паштецкий В.С., Невкрытая Н.В., Мишнев А.В., Назаренко Л.Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 320 с.
20. Aćimović M., Kiproviski B., Rat M., Sikora V., Popović V., Koren A., Brdar-Jokanović M. *Salvia sclarea*: chemical composition and biological activity // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management. 2018. Vol. 1(1). P. 18–28.
21. Ставцева И. В., Егорова Н. А. Создание сорта шалфея мускатного с использованием методов клеточной инженерии. 2. Изучение растений-регенерантов на этапах селекционного процесса // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2 (26). С. 208–222. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-208-222.
22. Kintzios S. E. *Salvia* spp.: tissue culture, somatic embryogenesis, micropropagation and biotransformation // In book: Sage: The Genus *Salvia*. Ed. by Kintzios S. E. CRC Press. 2000. P. 241–250.
23. Echeverrigaray S., Carrer R. P., Andrade L. B. Micropropagation of *Salvia guaranitica* Benth. through axillary shoot proliferation // Braz. Arch. Biol. Technol. 2010. Vol. 53 (4). P. 883–888. DOI: 10.1590/S1516-89132010000400018.
24. Grigoriadou K., Trika F. A., Tsoktouridis G., Krigas N., Sarropoulou V., Papanastasi K., Maloupa E., Makris A. M. Micropropagation and cultivation of *Salvia sclarea* for essential oil and sclareol production in northern Greece // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2020. Vol. 56. P. 51–59. DOI: 10.1007/s11627-019-10040-4.
25. 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.
26. Wu Ch.-F. Karioti A., Rohr D., Bilia A.R., Efferth T. Production of rosmarinic acid and salvianolic acid B from callus culture of *Salvia miltiorrhiza* with cytotoxicity towards acute lymphoblastic leukemia cells // Food Chemistry. 2016. Vol. 201. No. 15. P. 292–297. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.01.054.
27. Grzegorzczak-Karolak I. Optimization of culture conditions and cultivation phase for the growth of *Salvia viridis* transformed roots and polyphenolic compound production // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2020. Vol. 142. P. 571–581. DOI: 10.1007/s11240-020-01883-6.
28. Liu W., Chilcott C. E., Reich R. C., Hellmann G. M. Regeneration of *Salvia sclarea* via organogenesis // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2000. Vol. 36. No. 3. P. 201–206. DOI: 10.1007/s11627-000-0037-z.
29. Tawfik A. A., Mohamed M. F. Regeneration of *Salvia officinalis* L. via induction of meristematic callus // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2007. Vol. 43, No.1. P. 21–27. DOI: 10.1007/s11627-006-9002-0.
30. Marconi P. L., López M. C., De Meester J., Bovjin C., Alvarez M.A. *In vitro* establishment of *Salvia hispanica* L. plants and callus // Biotecnología Vegetal. 2013. Vol. 13. No. 4. P. 203–207.
31. Musarurwa H. T., Koegelenberg L., Makunga N. P. Chemical variation in essential oil profiles detected using headspace solid-phase microextraction gas chromatography spectrometry in response to potassium, nitrogen, and water available to micropropagated plants of *Salvia stenophylla* (Burch. ex Benth.) // J. Plant Growth Regul. 2012. Vol. 31. P. 207–220. DOI: 10.1007/s00344-011-9232-x.
32. Han L. M., Yu J. N., Ju W. F. Salt and drought tolerance of transgenic *Salvia miltiorrhiza* Bunge with the TaLEA1 gene // Zhi wu sheng li yu fen zi sheng wu xue xue bao = Journal of plant physiology and molecular biology. 2007. Vol. 33(2). P.109–114. PMID: 17452795. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17452795/> (дата обращения 20.02.2022).
33. Ставцева И. В., Егорова Н. А. Культура изолированных зародышей шалфея и ее использование в селекции. Методические рекомендации. Симферополь, ИЭЛР НААНУ, 2011. 20 с.
34. Калинин Ф. Л., Сарнацкая В. В., Полищук В. Е. Методы культуры тканей в физиологии

и биохимии растений. К.: Наукова думка, 1980. 488 с.

35. Моргун В. В., Григорюк И. П., Кравець В. С. Вплив регуляторів росту на водний статус і продуктивність сортів картоплі за умов посухи // Физиология и биохимия культурных растений. 2001. Т. 33. № 5. С. 371–376.

36. Егорова Н. А., Ставцева И. В., Митрофанова И. В. Морфогенез и клональное микроразмножение *Salvia sclarea* L. *in vitro* // Труды Никитского ботанического сада. 2011. Т. 133. С. 41–53.

37. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 5. С. 623–628. DOI: 10.18699/VJ16.183.

## References

1. Zia Ur Rahman Farooqi, Muhammad Ashar Ayub, Muhammad Zia ur Rehman, Muhammad Irfan Sohail, Muhammad Usman, Hinnan Khalid, Komal Naz Regulation of drought stress in plants // In book: Plant life under changing environment: responses and management. Chap. 4. Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. P. 77–104. DOI: 10.1016/C2018-1-02300-8.

2. Hanaka A., Majewska M., Jaroszuk-Sciseł J. Study of the influence of abiotic and biotic stress factors on horticultural plants // Horticulturae. 2022. Vol. 8 (1). No. 6. DOI: 10.3390/horticulturae8010006.

3. Arzani A. Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view // In Vitro Cell. Dev. Biol.–Plant. 2008. Vol. 44. No. 5. P. 373–383. DOI: 10.1007/s11627-008-9157-7.

4. Pykalo S., Demidov O., Yurchenko T., Khomenko S., Gumenyuk O., Kharchenko M., Prokopik N. Methods for evaluation of wheat breeding material for drought tolerance // Visnyk of Lviv University. Biological series. 2020. Iss. 82. P. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.

5. Kalashnikova E. A. Cell engineering of plants. Moscow: “Yurayt”, 2020. 333 p.

6. Dubrovnaya O. V. *In vitro* selection of wheat for resistance to abiotic stress factors // Физиология растений і генетика (Plant physiology and genetics). 2017. Vol. 49. No. 4. P. 279–292. DOI: 10.15407/frg2017.04.279.

7. Torabi S., Niknam V. Effects of iso-osmotic concentrations of NaCl and mannitol on some metabolic activity in calluses of two *Salicornia* species // In Vitro Cell. Dev. Biol.–Plant. 2011. Vol. 47. P. 734–742. DOI: 10.1007/s11627-011-9371-6.

8. Ignatova S. A. Cell technologies in plant growing, genetics and breeding of cultivated plants: tasks, opportunities, development of *in vitro* systems. Odessa: Astroprint, 2011. 224 p.

9. Dubrovnaya O. V., Chugunkova T. V., Bovol A. V., Lyalko I. I. Biotechnological and cytogenetic basis for creating stress-resistant plants. Kiev: Logos, 2012. 428 p.

10. Amineva E. Yu., Gureev A. P., Tabatskaya T. M., Mashkina O. S., Popov V. N. Genotypic variability of *Pinus sylvestris* L. on the drought-resistance attribute // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2019. Vol. 23 (1). P. 15–23. DOI: 10.18699/VJ19.456.

11. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Callus culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 1 (25). P. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139.

12. Yegorova N. A. Biotechnology of essential oil plants: creation of new forms and micropropagation *in vitro*. Simferopol: Publishing House “Autograph”, 2021. 315 p. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.

13. Matheka J. M., Magiri E., Rasha A. O., Machuka J. *In vitro* selection and characterization of drought tolerant somaclones of tropical maize (*Zea mays* L.) // Biotechnology (Faisalabad). 2008. Vol. 7. No. 4. P. 641–650. DOI: 10.3923/biotech.2008.641.650.

14. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Embryo culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2 (26). P. 127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127-144.

15. Zemlianukhina O., Cherkasova N., Zhuzhzhhalova T., Kalaev V. Biochemical and morphological characteristics of acid-resistant regenerants of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) // J. Agric. Sci. Technol. 2017. Vol. 7. No 6. P. 383–392. DOI: 10.17265/2161-6256/2017.06.003.

16. Tabatskaya T. M., Mashkina O. S., Korchagin O. M. *In vitro* modeling of salinity stress for the selection of stress-tolerant birch lines // E3S Web of Conferences “Topical problems of agriculture, civil and environmental engineering, TPACEE 2020”. 2020. Art. No. 04013. DOI: 10.1051/e3sconf/202022404013.

17. Simsek Ö. Effect of drought stress in *in vitro* and drought-related gene expression in *Carrizo citrange* // Fresenius Environmental Bulletin. 2018. Vol. 27. No. 12A. P. 9167–9171.

18. Sajid Z. A., Aftab F. Amelioration of salinity tolerance in *Solanum tuberosum* L. by exogenous application of ascorbic acid // In Vitro Cell. Dev. Biol.–Plant. 2009. Vol. 45. P. 540–549. DOI: 10.1007/s11627-009-9252-4.



19. Pashtetskii V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V., Nazarenko L. G. Essential oil industry in the Crimea. Yesterday, today, tomorrow. Simferopol: Publishing house "Arial", 2018. 320 p.
20. Aćimović M., Kiproviski B., Rat M., Sikora V., Popović V., Koren A., Brdar-Jokanović M. *Salvia sclarea*: chemical composition and biological activity // Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management. 2018. Vol. 1(1). P. 18–28.
21. Stavtzeva I. V., Yegorova N. A. Creation of clary sage cultivar using cell engineering methods. 2. Study of plant-regenerants at the stages of breeding process // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2 (26). P. 208–222. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-208-222.
22. Kintzios S. E. *Salvia* spp.: tissue culture, somatic embryogenesis, micropropagation and biotransformation // In book: Sage: The Genus *Salvia* // Ed. by Kintzios S. E. CRC Press. 2000. P. 241–250.
23. Echeverrigaray S., Carrer R. P., Andrade L.B. Micropropagation of *Salvia guaranitica* Benth. through axillary shoot proliferation // Braz. Arch. Biol. Technol. 2010. Vol. 53 (4). P. 883–888. DOI: 10.1590/S1516-89132010000400018.
24. Grigoriadou K., Trikka F. A., Tsoktouridis G., Krigas N., Sarropoulou V., Papanastasi K., Maloupa E., Makris A. M. Micropropagation and cultivation of *Salvia sclarea* for essential oil and sclareol production in northern Greece // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2020. Vol. 56. P. 51–59. DOI: 10.1007/s11627-019-10040-4.
25. Yegorova N.A. Some aspects of essential oil plants biotechnology: microclonal propagation, synthesis of secondary metabolites *in vitro* // Plant Physiology and Genetics (Fiziol. rast. genet.). 2014. Vol.46. No. 3. P.187–201.
26. Wu Ch.-F., Karioti A., Rohr D., Bilia A.R., Efferth T. Production of rosmarinic acid and salvianolic acid B from callus culture of *Salvia miltiorrhiza* with cytotoxicity towards acute lymphoblastic leukemia cells // Food Chemistry. 2016. Vol. 201. No. 15. P. 292–297. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.01.054.
27. Grzegorzczuk-Karolak I. Optimization of culture conditions and cultivation phase for the growth of *Salvia viridis* transformed roots and polyphenolic compound production // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2020. Vol. 142. P. 571–581. DOI: 10.1007/s11240-020-01883-6.
28. Liu W., Chilcott C. E., Reich R. C., Hellmann G. M. Regeneration of *Salvia sclarea* via organogenesis // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2000. Vol. 36. No. 3. P. 201–206. DOI: 10.1007/s11627-000-0037-z.
29. Tawfik A. A., Mohamed M. F. Regeneration of salvia (*Salvia officinalis* L.) via induction of meristematic callus // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2007. Vol. 43. No.1. P. 21–27. DOI: 10.1007/s11627-006-9002-0.
30. Marconi P. L., López M. C., De Meester J., Bovjin C., Alvarez M.A. *In vitro* establishment of *Salvia hispanica* L. plants and callus // Biotecnología Vegetal. 2013. Vol. 13. No. 4. P. 203–207.
31. Musarurwa H. T., Koegelenberg L., Makunga N. P. Chemical variation in essential oil profiles detected using headspace solid-phase microextraction gas chromatography spectrometry in response to potassium, nitrogen, and water available to micropropagated plants of *Salvia stenophylla* (Burch. ex Benth.) // J. Plant Growth Regul. 2012. Vol. 31. P. 207–220. DOI: 10.1007/s00344-011-9232-x.
32. Han L.M., Yu J.N., Ju W.F. Salt and drought tolerance of transgenic *Salvia miltiorrhiza* Bunge with the TaLEA1 gene // Zhi wu sheng li yu fen zi sheng wu xue xue bao = Journal of plant physiology and molecular biology. 2007. Vol. 33(2). P.109–114. PMID: 17452795. [Electronic resource]. Access point: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17452795/> (reference's date 01.03.2022).
33. Stavtzeva I. V., Yegorova N. A. The culture of isolated sage embryos and their use in breeding. Guidelines. Simferopol: Research Institute of Essential Oil and Medicinal Crops, 2011. 20 p.
34. Kalinin F. L., Sarnatskaya V. V., Polishchuk V. E. Methods of tissue culture in plant physiology and biochemistry. Kiev: Naukova dumka, 1980. 488 p.
35. Morgun V. V., Grigoryuk I. P., Kravets V. S. Influence of growth regulators on water status and productivity of potato cultivars in drought conditions // Physiology and biochemistry of cultivated plants. 2001. Vol. 33. No. 5. P. 371–376.
36. Yegorova N. A., Stavtzeva I. V., Mitrofanova I. V. Morphogenesis and clonal micropropagation of *Salvia sclarea* L. *in vitro* // Works of the State Nikita Botanical Gardens. 2011. Vol. 133. P. 41–53.
37. Shupletsova O. N., Shchennikova I. N. Results of using cell technologies for creation of new barley varieties resistant against aluminum toxicity and drought // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2016. Vol. 20 (5). P. 623–628. DOI: 10.18699/VJ16.183.

UDC 633.81:57.085.2

Yegorova N. A., Stavtzeva I. V.

**THE USE OF EMBRYO CULTURE FOR THE SELECTION CLARY SAGE  
FORMS RESISTANT TO OSMOTIC STRESS IN VITRO**

**Summary.** *The most important task of plant breeding is the creation of highly productive cultivars resistant to abiotic stress factors of the environment, in particular, to drought. This also applies to one of the essential oil plants widespread in the south of Russia – clary sage. To solve many breeding issues, biotechnological methods are currently being actively used. One of these methods is in vitro cell selection, which allows targeted selection of genotypes with desired traits. The purpose of the work was to study the features of the effect of osmotic stress on the development of isolated embryos of clary sage cultivars and samples to develop a cell technology for creating forms resistant to this stress factor in vitro. Cultivars and samples of sage (*Salvia sclarea* L.) differing in field drought resistance were used in the studies. Mature zygotic embryos were used as explants, which were cultivated on Murashige and Skoog (MS) culture media supplemented with osmotic agents (NaCl, mannitol, sorbitol, sucrose) at various concentrations. In the control, embryos were cultured on MS medium. It was shown that the cultivation of embryos of three cultivars ('C-785', 'Ai-Todor' and 'Taigan') on media with 0.9 % NaCl, 4.0–5.0 % mannitol or sorbitol and 7.0 % sucrose made it possible to differentiate cultivars by resistance to osmotic stress. In the following experiment, the development of isolated embryos of 10 cultivars and samples of sage (with coefficients of drought resistance from 22.5 to 73.5 %) was analyzed on a medium supplemented with a sublethal concentration of mannitol (4.5 %). Herewith, a decrease in comparison with the control from 1.4 to 14.5 times was revealed for all the studied parameters, such as the frequency of embryos germination and seedlings formation, the length of the shoot and root. It was established that the maximum correlation coefficients (0.76–0.79) were between the field drought resistance of genotypes and the frequency of seedling development on the medium with mannitol. The conducted studies showed that the developed selective system for obtaining or evaluating in vitro forms of sage resistant to abiotic stress is rather promising.*

**Keywords:** *Salvia sclarea* L., in vitro selection, osmotic stress, embryo culture.

Егорова Наталья Алексеевна, доктор биологических наук, заведующая лабораторией биотехнологии ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Ставцева Ирина Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ira563583@mail.ru.

Yegorova Natalia Alekseevna, Dr. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of biotechnology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: yegorova.na@mail.ru.

Stavtzeva Irina Viktorovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: ira563583@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 13.02.2022.*

*Дата принятия к печати – 18.03.2022.*

УДК 633.11 «324»:581.1.045  
EDN GSKJAE

Косенко С. В.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАЗЛИЧНЫХ ПО СКОРОСПЕЛОСТИ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

**Реферат.** Среднее Поволжье является одним из крупных регионов Российской Федерации по производству зерна пшеницы. Однако неблагоприятные природные факторы, среди которых первое место занимает перезимовка, а затем и засуха, приводят к значительному варьированию урожайности озимой мягкой пшеницы. Осуществлять контроль за агроклиматической ситуацией можно набором соответствующих сортов, обладающих хорошо развитой корневой системой. Поэтому целью исследований является проведение анализа морфометрических параметров корневой системы у сортов озимой пшеницы для отбора исходного материала, перспективного при селекции на зимостойкость. Исследования проводили в 2015/16–2016/17 сельскохозяйственных годах в лесостепной зоне Пензенской области. Материалом для исследований служили 10 сортов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) различающихся по группе спелости. Опыты закладывали в шестикратной повторности с площадью делянок 10 м<sup>2</sup>, расположение делянок рендомизированное. Норма высева – 5,5 млн всхожих семян/га. Вегетационные периоды 2015/16 и 2016/17 годов характеризовались благоприятными условиями, ГТК равен 1,10 и 1,18 соответственно. Установлено, что на долю влияния фактора «сорт» в общей изменчивости числа, длины зародышевых и узловых корней составил 54,1 %, 44,2 % и 87,0 %, 75,2 % соответственно, «год» – 12,0 %, 18,1 % и 11,9 %, 18,2 % соответственно. В годы исследований наиболее зимостойкими (в среднем 81–86 %) и высокоурожайными (в среднем 4,58–5,71 т/га) были среднеспелые сорта озимой пшеницы Фотинья, Клавдия 2, Безенчукская 380, Скипетр, Оренбургская 105, которые в сравнении с раннеспелыми сортами образовывали большое число зародышевых (в среднем 5,4–6,2 шт.) и узловых корней (в среднем 9,5–12,6 шт.). Отмечена положительная корреляционная связь зимостойкости и урожайности с основными параметрами корневой системы у сортов озимой пшеницы. Среднеспелые сорта целесообразно использовать в качестве исходного материала для включения в селекционные программы по повышению зимостойкости.

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт, зимостойкость, урожайность, корневая система.

**Для цитирования:** Косенко С. В. Особенности развития корневой системы различных по скороспелости сортов озимой мягкой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 57–64. EDN: GSKJAE.

**For citation:** Kosenko S. V. Peculiarities of the development of the root system of winter soft wheat varieties of different ripeness groups // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 57–64. EDN: GSKJAE.

### Введение

Среднее Поволжье является одним из крупных регионов Российской Федерации по производству зерна пшеницы. Озимая и яровая мягкая пшеница здесь являются базовыми культурами, на которых строится стратегия развития АПК. Природно-климатические условия региона, куда входит и Пензенская область, затрудняют получение стабильных урожаев хлебопекарной пшеницы высокого

качества. Общей их особенностью является наличие таких лимитирующих факторов климата, как неблагоприятные условия перезимовки, проявление региональных типов засух, неравномерное распределение тепла и влаги, ограниченность в отдельные годы теплоресурсов, выпадение обильных осадков, сопровождающихся шквалистыми ветрами [1].

В Среднее Поволжье, согласно ФГБУ «Государственная комиссия РФ по испытанию и охране селекционных достижений», входят республики Татарстан и Мордовия, три области – Пензенская, Самарская и Ульяновская, в пределах этого региона осуществляется допуск к использованию в производстве новых сортов [2]. Одной из важных проблем в регионе при выращивании озимой пшеницы является преодоление отрицательного влияния неблагоприятных природных факторов, среди которых первое место занимает перезимовка, а затем и засуха. Неблагоприятные природные факторы приводят к значительному варьированию урожайности. Именно засушливость и зимостойкость являются определяющими факторами намечающегося изменения климата. Поэтому осуществлять контроль за агроклиматической ситуацией можно набором сортов озимой пшеницы, обладающих высокой засухоустойчивостью и зимостойкостью.

В отечественной литературе отдельные указания на большое значение корневой системы в создании урожая встречаются в первой половине прошлого столетия в работах М. Максимовича, но наиболее интенсивное изучение корневых систем у нас в стране было развёрнуто в XX веке. В этот период А. П. Модестов [3] впервые обратил внимание исследователей на существование сортовых различий корневых систем растений, установил метрические различия корневых систем у различных сортов овса и пшеницы и выявил связь засухоустойчивости культурных растений с характером развития их корневых систем.

Все последующие работы отечественных и зарубежных авторов способствовали расширению и углублению более правильного представления о роли корней в жизни растения [4–6].

Многолетние исследования А. С. Устименко, П. В. Данильчука, А. Т. Гвоздиковой [7] показали, что в сравнимых условиях возделывания различные сорта сельскохозяйственных культур формируют неодинаковую урожайность, как по величине, так и по качеству, что указывает на различия их природы, генотипа и физиологической активности корневой системы. Только один этот факт уже раскрывает огромную роль корневой системы в повышении продуктивности растений и указывает на необходимость глубокого изучения их особенностей.

**Цель исследований** – анализ морфометрических параметров корневой системы у сортов озимой мягкой пшеницы для отбора исходного материала, перспективного при селекции на зимостойкость в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

**Задача исследований** – изучить сортовые различия по формированию и развитию корневой системы на ранних этапах роста растений озимой мягкой пшеницы, различающихся группой спелости.

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

Исследования проводили в 2015/16–2016/17 сельскохозяйственных годах в лесостепной зоне Пензенской области. Климат зоны умеренно-континентальный. Почвы опытного участка – выщелоченный чернозём среднемощный среднегумусный, мощность пахотного горизонта 35–40 см. Среднее содержание гумуса в пахотном слое 6,38 % (по Тюрину и Кононовой), легкогидролизуемых форм азота – 6,41;  $P_2O_5$  – 14,96;  $K_2O$  – 16,9 мг/100 г почвы (по Чирикову). Кислотность водной вытяжки составила 5,5 ед. рН.

Вегетационные периоды 2015/16 и 2016/17 годов характеризовались благоприятными условиями, за весь период выпало 171 и 182,9 мм осадков, что выше среднегодовой нормы на 8 и 12 мм соответственно, среднесуточная

температура воздуха – 15,1 и 15,7 °С (на уровне среднегодовой нормы), гидротермический коэффициент (ГТК) в 2015/16 году равен 1,10 и в 2016/17 году 1,18. Объектом исследований служили 10 сортов озимой мягкой пшеницы, из них шесть сортов районированных Бирюза (2008 г.), Фотинья (2014 г.), Клавдия 2 (2017 г.), Безенчукская 380 (1994 г.), Скипетр (2009 г.), Оренбургская 105 (1998 г.), три сорта (Юмпа, Дон 85, Зерноградка 6) из селекцентров России и один сорт Century из США. Предшественник – чистый пар. Опыты закладывали в шестикратной повторности с площадью делянок 10 м<sup>2</sup>, расположение делянок рендомизированное. Норма высева – 5,5 млн всхожих семян/га.

Оценку зимостойкости, фенологические наблюдения, учёты и уборку выполняли согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [8] и методическим указаниям ВИР [9]. Подсчёт числа корней различных типов проводили на 10 растениях в каждом из шести повторений в следующие фазы развития растений: всходы, кущение, выход в трубку, цветение. Максимальное углубление корней в почву определяли путём откапывания 10 растений в каждой из шести повторений.

Математическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа [10].

### Результаты и их обсуждение

Общеизвестно, что корневая система озимой мягкой пшеницы формируется из зародышевых, колеоптильных и узловых корней. Каждый тип корней отличается характерными особенностями, как в их росте, так и деятельности, и требованиях к окружающей среде. В оптимальных условиях при прорастании семян озимой мягкой пшеницы первым развивается главный зародышевый корень, затем следует развитие первой пары придаточных зародышевых корней, а вслед за ней второй пары, после чего обычно начинается развитие двух колеоптильных корней. Узловые корни начинают развиваться на 15–20 день после всходов, то есть в фазе кущения. Число зародышевых корней у сортов озимой мягкой пшеницы различно, что объясняется неодинаковыми темпами развития и наследственными особенностями [11]. В связи с этим необходимо изучать сорта с быстро и медленно развивающимися зародышевыми корнями.

Изученные сорта в значительной степени различались по дифференциации зародышевых корней. Вклад фактора «сорт» в общую изменчивость числа зародышевых корней составил 54,1 %, фактора «год» – 12 %. Согласно полученным данным, наибольшим количеством зародышевых корней от 5,4 до 6,2 шт. характеризуются среднеспелые сорта: Фотинья, Клавдия 2 (Пензенская обл.), Безенчукская 380 (Самарская обл.), Скипетр (Московская обл.), Оренбургская 105 (Оренбургская обл.) (таблица 1).

Отмечена положительная корреляционная связь зимостойкости и урожайности с количеством зародышевых корней в 2015/2016 г.  $r = 0,843 \pm 0,190^{**}$  и  $r = 0,817 \pm 0,204^{**}$  соответственно, в 2016/2017 г.  $r = 0,652 \pm 0,268^*$  и  $r = 0,874 \pm 0,172^{***}$  соответственно, по усреднённым данным  $r = 0,839 \pm 0,192^{**}$  и  $r = 0,900 \pm 0,154^{***}$  соответственно (\* –  $p = 0,05$ , \*\* – при  $p = 0,01$ , \*\*\* – при  $p = 0,001$ ).

Образование мощной корневой системы у растений предопределяется не только числом корней, но и темпами их нарастания и динамикой углубления в почву [12].

Зародышевые корни на первых этапах развития не задерживаются в пахотном горизонте, а проникают глубоко в пахотные слои почвы (см. таблицу 1). Уже в фазе кущения главный зародышевый корень углубляется в почву в среднем от 26,2 см у среднеспелого сорта Оренбургская 105 до 33,1 см у раннеспелого сорта Бирюза (Самарская обл.).

Таблица 1 – Динамика нарастания корневой системы у сортов озимой мягкой пшеницы разных групп спелости в 2015/2016–2016/2017 сельскохозяйственные

ГОДЫ

Сорт	Зародышевые корни, шт.					Узловые корни, шт.					Период «отрастание – колосение», сут	Зимостойкость, %	Урожайность, т/га
	всходы	кущение	углубление корней в почву в фазу начало кущения, см	выход в трубку	цветение	всходы	кущение	углубление корней в почву в фазу начало кущения, см	выход в трубку	цветение			
раннеспелые													
Бирюза	$\frac{3,5-4,1}{3,8}$	$\frac{3,8-4,6}{4,2}$	$\frac{29,6-36,6}{33,1}$	$\frac{4,0-4,8}{4,4}$	$\frac{4,0-5,0}{4,5}$	$\frac{0,7-0,9}{0,8}$	$\frac{1,6-2,4}{2,0}$	$\frac{5,4-6,4}{5,9}$	$\frac{4,0-5,2}{4,6}$	$\frac{5,8-7,2}{6,5}$	$\frac{54-58}{56}$	$\frac{84-60}{72}$	$\frac{4,12-4,54}{4,33}$
Юмпа	$\frac{3,3-3,9}{3,6}$	$\frac{3,6-4,6}{4,1}$	$\frac{27,8-33,4}{30,6}$	$\frac{3,8-4,8}{4,3}$	$\frac{3,8-5,2}{4,5}$	$\frac{0,5-0,6}{0,6}$	$\frac{1,4-2,2}{1,8}$	$\frac{4,0-5,0}{4,5}$	$\frac{3,8-4,6}{4,2}$	$\frac{5,7-6,9}{5,8}$	$\frac{52-56}{54}$	$\frac{76-56}{66}$	$\frac{3,91-4,33}{4,12}$
Дон 95	$\frac{3,6-4,0}{3,8}$	$\frac{4,0-4,4}{4,2}$	$\frac{28,2-33,6}{30,9}$	$\frac{4,0-4,4}{4,2}$	$\frac{4,2-4,8}{4,5}$	$\frac{0,7-0,8}{0,8}$	$\frac{1,8-2,2}{2,0}$	$\frac{5,0-6,0}{5,5}$	$\frac{4,4-5,4}{4,8}$	$\frac{5,5-6,6}{6,0}$	$\frac{52-58}{55}$	$\frac{84-64}{74}$	$\frac{4,21-4,61}{4,41}$
Зерноградка 6	$\frac{3,3-4,3}{3,8}$	$\frac{3,8-4,6}{4,2}$	$\frac{28,8-33,8}{31,3}$	$\frac{4,0-4,8}{4,4}$	$\frac{4,2-5,2}{4,7}$	–	$\frac{1,6-2,0}{1,8}$	$\frac{4,5-5,5}{5,0}$	$\frac{3,4-4,6}{4,0}$	$\frac{5,0-6,4}{5,7}$	$\frac{55-57}{56}$	$\frac{80-64}{72}$	$\frac{3,80-4,52}{4,16}$
Сентуш	$\frac{3,1-3,7}{3,4}$	$\frac{3,6-4,4}{4,0}$	$\frac{26,4-31,0}{28,7}$	$\frac{3,8-4,6}{4,2}$	$\frac{4,0-5,0}{4,5}$	–	$\frac{1,4-2,2}{1,8}$	$\frac{3,5-4,5}{4,0}$	$\frac{2,8-3,4}{3,1}$	$\frac{4,2-5,6}{4,9}$	$\frac{50-56}{53}$	$\frac{76-60}{68}$	$\frac{3,74-4,38}{4,06}$
среднеспелые													
Фотиня (Sl.)	$\frac{4,2-5,4}{4,8}$	$\frac{4,4-5,6}{5,0}$	$\frac{25,8-27,4}{26,6}$	$\frac{4,8-5,8}{5,3}$	$\frac{4,8-6,0}{5,4}$	$\frac{0,8-0,9}{0,9}$	$\frac{2,0-2,8}{2,4}$	$\frac{7,0-8,0}{7,5}$	$\frac{5,4-6,6}{6,0}$	$\frac{8,8-10,2}{9,5}$	$\frac{58-65}{62}$	$\frac{93-79}{86}$	$\frac{4,42-4,96}{4,69}$
Клавдия 2	$\frac{4,4-5,6}{5,0}$	$\frac{4,6-5,8}{5,2}$	$\frac{25,4-27,4}{26,4}$	$\frac{4,8-6,2}{5,5}$	$\frac{4,8-6,4}{5,6}$	$\frac{0,9-1,2}{1,1}$	$\frac{2,2-3,0}{2,6}$	$\frac{6,0-7,2}{6,6}$	$\frac{6,5-7,7}{7,1}$	$\frac{9,8-11,2}{10,5}$	$\frac{60-66}{63}$	$\frac{88-80}{84}$	$\frac{4,52-5,80}{5,16}$
Безлукская 380	$\frac{4,4-5,2}{4,8}$	$\frac{4,6-5,6}{5,1}$	$\frac{26,2-28,6}{27,4}$	$\frac{4,8-6,0}{5,4}$	$\frac{5,0-6,2}{5,6}$	$\frac{0,8-1,1}{1,0}$	$\frac{2,2-2,6}{2,4}$	$\frac{6,5-7,5}{7,0}$	$\frac{6,6-7,8}{7,2}$	$\frac{10,2-11,4}{10,8}$	$\frac{60-68}{64}$	$\frac{86-78}{82}$	$\frac{4,22-4,94}{4,58}$
Скипетр	$\frac{4,6-5,4}{5,5}$	$\frac{5,2-6,4}{5,8}$	$\frac{26,0-27,2}{26,6}$	$\frac{5,4-6,6}{6,0}$	$\frac{5,6-6,8}{6,2}$	$\frac{1,0-1,2}{1,2}$	$\frac{2,4-3,2}{2,8}$	$\frac{8,5-10,7}{9,6}$	$\frac{8,3-9,3}{8,8}$	$\frac{11,8-13,4}{12,6}$	$\frac{62-68}{65}$	$\frac{88-74}{81}$	$\frac{5,36-6,06}{5,71}$
Оренбургская 105	$\frac{4,2-5,4}{4,8}$	$\frac{4,5-5,7}{5,1}$	$\frac{25,6-26,8}{26,2}$	$\frac{4,8-6,0}{5,4}$	$\frac{4,8-6,2}{5,5}$	$\frac{0,9-1,1}{1,0}$	$\frac{2,0-2,8}{2,4}$	$\frac{6,2-7,4}{6,8}$	$\frac{5,8-6,9}{6,4}$	$\frac{9,2-11,2}{10,2}$	$\frac{61-67}{64}$	$\frac{92-76}{84}$	$\frac{3,98-5,44}{4,71}$
НСР <sub>05</sub>	0,9	0,7	1,4	0,6	0,5	NS	0,4	1,1	2,2	3,6	–	–	0,26

**Примечание.** в числителе – размах варьирования, 2015/2016–2016/2017 гг.; в знаменателе – средний показатель.

По динамике углубления главного зародышевого корня в почву между сортами озимой мягкой пшеницы существуют определённые различия. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа свидетельствует о значимом вкладе факторов «сорт» и «год» в общую изменчивость длины зародышевых корней. На долю их влияния приходится 44,2 % и 18,1 % соответственно. Наиболее заметные различия по длине зародышевых корней характерны для групп сортов с разной продолжительностью вегетации. В фазе кущения среди изученных сортов глубже проникали в почву корни раннеспелых сортов. Однако и между ними в этот период отмечали различия. Так, у сорта Бирюза (Самарская обл.) зародышевые корни проникали на глубину в среднем до 33,1 см, а у сорта Century из США – всего на 28,7 см. Следует отметить, что сорта с наиболее продолжительным периодом «отрастание–колошение» формируют хорошо развитую систему зародышевых корней.

В условиях лесостепи Среднего Поволжья от сортов озимой мягкой пшеницы требуется не только мощное развитие зародышевой корневой системы, но и способность растений к раннему образованию узловых корней, которые обеспечивают получение высоких урожаев, особенно в благоприятные по гидротермическому режиму годы. Такие же выводы следуют из работ отечественных и зарубежных авторов [13–15].

Изучение особенностей формирования числа узловых корней у сортов озимой мягкой пшеницы показало, что этот признак имеет большой размах изменчивости по сортам (87 %), а по годам исследований незначительный (11,9 %), так как 2015/2016–2016/2017 гг. существенно не различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков и были благоприятными для роста и развития корневой системы. Узловые корни образуются на растениях во все годы, но не всегда они получают достаточное развитие. Их образование и рост обусловлены, прежде всего, наличием влаги в пахотном горизонте почвы на глубине узла кущения.

Проведённые исследования показали, что закладка узла кущения у озимой мягкой пшеницы начинается у большинства сортов в период появления четвёртого листа (начало кущения). Среди изученных сортов большое количество узловых корней отмечено у среднеспелых форм – в среднем свыше 10 корней этого типа на одно растение. Хорошей обеспеченностью узловыми корнями (от 9,5 до 12,6 шт.) отличились следующие сорта: Фотинья, Клавдия 2, Безенчукская 380, Скипетр, Оренбургская 105.

Отмечена положительная корреляционная связь зимостойкости и урожайности с количеством узловых корней: в 2015/2016 г. –  $r = 0,857 \pm 0,182^{**}$  и  $r = 0,787 \pm 0,218^{**}$  соответственно, в 2016/2017 г. –  $r = 0,671 \pm 0,262^*$  и  $r = 0,895 \pm 0,158^{***}$  соответственно, по усреднённым данным –  $r = 0,865 \pm 0,177^{**}$  и  $r = 0,893 \pm 0,159^{***}$  соответственно.

По глубине залегания узловых корней в почву в фазе кущения также отличились среднеспелые сорта, которые к этому времени уже углубились в почву до 9,6 см. Вклад фактора «сорт» в общую изменчивость длины узловых корней составил 75,2 %, фактора «год» – 18,2 %.

Отмечена положительная корреляционная связь зимостойкости и урожайности с глубиной залегания узловых корней: в 2015/2016 г.  $r = 0,644 \pm 0,270^*$  и  $r = 0,782 \pm 0,220^{**}$  соответственно, в 2016/2017 г. –  $r = 0,872 \pm 0,173^{**}$  и  $r = 0,813 \pm 0,206^{**}$  соответственно, по усреднённым данным –  $r = 0,784 \pm 0,219^{**}$  и  $r = 0,910 \pm 0,147^{***}$  соответственно.

Наращение наибольшего количества узловых корней и быстрые темпы их развития – ценный биологический признак, селекционная оценка которого может оказаться полезной при подборе пар для скрещивания.

#### Выводы

При селекции озимой мягкой пшеницы важно изучение сортовых различий по формированию и развитию корневой системы на ранних этапах роста растений. Это даёт возможность оценить исходный материал на зимостойкость. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа свидетельствует о значимом вкладе факторов «сорт» и «год» – на долю влияния фактора «сорт» в общей изменчивости числа, длины зародышевых и узловых корней приходится 54,1 %, 44,2 % и 87,0 %, 75,2 % соответственно, «год» – 12,0 %, 18,1 % и 11,9 %, 18,2 % соответственно.

В годы исследований наиболее зимостойкими (в среднем 81–86 %) и высокоурожайными (в среднем 4,58–5,71 т/га) являются среднеспелые сорта озимой мягкой пшеницы: Фотинья, Клавдия 2, Безенчукская 380, Скипетр, Оренбургская 105, которые в сравнении с раннеспелыми сортами образуют большое число жизнедеятельных зародышевых корней (в среднем 5,4–6,2 шт.) и узловых корней (в среднем 9,5–12,6 шт.). Среднеспелые сорта целесообразно использовать в качестве исходного материала для включения в селекционные программы по повышению зимостойкости.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS-2022-0008).*

#### Литература

1. Иванников В. Ф. Особенности создания высокозимостойких и засухоустойчивых сортов озимой пшеницы для условий Среднего Поволжья // Повышение продуктивности и устойчивости производства зерна озимой пшеницы в СССР. 1989. № 1. С. 24–27.
2. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). [Электронный ресурс]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2021. 719 с. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04> (дата обращения 02.03.2022).
3. Модестов А. П. Правда о корнях. М.: Изд-во сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1932. 80 с.
4. Ионова Е. В., Газе В. Л., Шарова В. М., Некрасов Е. И. Корневая система и сухая масса растений озимой пшеницы в условиях провокационного фона «засушник» // Зерновое хозяйство России. 2016. № 1. С. 32–35.
5. Pshenichnikova T. A., Smirnova O. G., Simonov A. V., Shchukina L. V., Morozova E. V., Lohwasser U., Börner A. The relationship between root system development and vernalization under contrasting irrigation in bread wheat lines with the introgressions from a synthetic hexaploid // Plant Growth Regul. 2020. Vol. 92(3). P. 583–595. DOI: 10.1007/s10725-020-00666-5.
6. Voss-Fels K. P., Robinson H., Mudge S. R., Richard C., Newman S., Wittkop B., Stahl A., Friedt W., Frisch M., Gabur I., Miller-Cooper A., Campbell B. C., Kelly A., Fox G., Christopher J., Christopher M., Chenu K., Franckowiak J., Mace E. S., Borrell A. K., Eagles H., Jordan D. R., Botella J. R., Hammer G., Godwin I. D., Trevaskis B., Snowdon R. J., Hickey L. T. Vernalization1 modulates root system architecture in wheat and barley // Mol. Plant. 2018. Vol. 11(1). P. 226–229. DOI: 10.1016/j.molp.2017.10.005.
7. Устименко А. С., Данильчук П. В., Гвозди́ковская А. Г. Корневые системы и продуктивность сельскохозяйственных растений. Киев: Урожай, 1975. 368 с.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры // Под ред. Федина М. А. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. 194 с.
9. Мережка А. Ф., Удачин Р. А., Зуев В. Е. [и др.]. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания ВИР. Санкт-Петербург: ВИР, 1999. 82 с.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
11. Красовская И. В. Корневая система яровой пшеницы и рост её в зависимости от



внешних условий // В кн.: Научный ответ института зернового хозяйства Юго-Востока СССР за 1943–1945 гг. Саратов, 1947. С. 167–188.

12. Грабовец А. И., Фоменко М. А. Озимая пшеница: монография. Ростов-на-Дону: ООО «Издательство «Юг», 2007. 600 с.

13. Краснова Л. И. Биология, селекция, семеноводство озимой пшеницы на Южном Урале. Оренбург: Издательский центр ОГАУ. 2003, 380 с.

14. Шаманин В. П., Потоцкая И. В., Шепелёв С. С., Пожерукова В. Е., Моргунов А. И. Морфометрические параметры корневой системы продуктивности растений у синтетических линий яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири в связи с засухоустойчивостью // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 3. С. 587–597. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.587rus.

15. Morguonov A., Abigalieva A., Akan K., Akin B., Baenziger S., Bhatta M., Dababat A.A., Demir L., Dutbayev Y., Bouhssini M.El., Erginbas-Orakci G., Kishii M., Keser M., Koç E., Kurespek A., Mujeeb-Kazi A., Yorgancilar A., Özdemir F., Öztürk I., Payne T., Qadimaliyeva G., Shamanin V., Subasi K., Suleymanova G. High-yielding winter synthetic hexaploid wheats resistant to multiple diseases and pests // Plant Genetic Resources. 2018. Vol. 16(3). P. 273–278. DOI: 10.1017/S147926211700017X.

### References

1. Ivannikov V. F. Peculiarities of creating highly winter-resistant and drought-resistant varieties of winter wheat for the conditions of the Middle Volga region // Improving the productivity and sustainability of winter wheat grain production in the USSR. 1989. No. 1. P. 24–27.

2. State register for selection achievements admitted for usage. Vol. 1. “Plant varieties” (official publication) Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”. 2021. 719 p. [Electronic resource]. Access point: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04>. (reference’s date 03.02.2022).

3. Modestov A. P. The truth about roots. Moscow: Publishing house of agricultural and collective farm-cooperative literature, 1932. 80 p.

4. Ionova E. V., Gaze V. L., Sharova V. M., Nekrasov E.I. Root system and dry mass of winter wheat under provoking conditions “zasushnik” // Grain Economy of Russia. 2016. No. 1. P. 32–35.

5. Pshenichnikova T. A., Smirnova O. G., Simonov A. V., Shchukina L. V., Morozova E. V., Lohwasser U., Börner A. The relationship between root system development and vernalization under contrasting irrigation in bread wheat lines with the introgressions from a synthetic hexaploid // Plant Growth Regul. 2020. No. 92(3). P. 583–595. DOI: 10.1007/s10725-020-00666-5.

6. Voss-Fels K. P., Robinson H., Mudge S.R., Richard C., Newman S., Wittkop B., Stahl A., Friedt W., Frisch M., Gabur I., Miller-Cooper A., Campbell B. C., Kelly A., Fox G., Christopher J., Christopher M., Chenu K., Franckowiak J., Mace E. S., Borrell A. K., Eagles H., Jordan D. R., Botella J. R., Hammer G., Godwin I. D., Trevaskis B., Snowdon R. J., Hickey L. T. Vernalization1 modulates root system architecture in wheat and barley // Mol. Plant. 2018. Vol. 11(1). P. 226–229. DOI: 10.1016/j.molp.2017.10.005.

7. Ustimenko A. S., Danilchuk P. V., Gvozdikovskaya A. G. Root systems and productivity of agricultural plants. Kiev: Urozhay, 1975. 368 p.

8. Methods of state variety testing of agricultural crops: grain, cereals, legumes, corn and fodder crops // Ed. by Fedin M. A. Moscow: State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops, 1989. 194 p.

9. Merezhko A. F., Udachin R. A., Zuev V. E. [et al.]. Replenishment, preservation in living form and study of the world collection of wheat, aegilops and triticale: methodical instructions of VIR. Saint-Petersburg: VIR, 1999. 82 p.

10. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

11. Krasovskaya I. V. The root system of spring wheat and its growth depending on external conditions // In book: Scientific response of the Institute of Grain Economy of the South-East of the USSR for 1943–1945. Saratov, 1947. P. 167–188.

12. Grabovets A. I., Fomenko M. A. Winter wheat: monograph. Rostov-on-Don: “Publishing House Yug ООО” (Limited Liability Company), 2007. 600 p.

13. Krasnova L. I. Biology, breeding, seed production of winter wheat in the Southern Urals. Orenburg: OGAU Publishing Center, 2003. 380 p.

14. Shamanin V. P., Pototskaya I. V., Shepelev S. S., Pozherukova V. E., Morgunov A. I. Root habitus and plant productivity of spring bread wheat synthetic lines in Western Siberia, as connected with breeding for drought tolerance // Sel’skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2018. Vol. 53. No. 3. P. 587–597. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.587rus.

15. Morguonov A., Abigalieva A., Akan K., Akin B., Baenziger S., Bhatta M., Dababat A. A., Demir L., Dutbayev Y., Bouhssini M. El., Erginbas-Orakci G., Kishii M., Keser M., Koç E., Kurespek A., Mujeeb-Kazi A., Yorgancilar A., Özdemir F., Öztürk I., Payne T., Qadimaliyeva G., Shamanin V., Subasi K., Suleymanova G. High-yielding winter synthetic hexaploid wheats resistant to multiple diseases and pests // Plant Genetic Resources. 2018. Vol. 16(3). P. 273–278. DOI:10.1017/S147926211700017X.

UDC 633.11 «324»:581.1.045

Kosenko S. V.

### **PECULIARITIES OF THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM OF WINTER SOFT WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT RIPENESS GROUPS**

**Summary.** *The Middle Volga region is one of the largest wheat grain producers in the Russian Federation. However, such unfavorable factors as overwintering and drought lead to a significant winter soft wheat yield variation. The agro-climatic situation can be controlled by a set of appropriate varieties with well-developed root system. In the light of the above, the aim of the research was to analyze the morphometric parameters of the winter wheat varieties root system for the selection of initial material promising in winter hardiness breeding. The studies were carried out in 2015/16–2016/17 agricultural years in the forest-steppe zone of the Penza region. Ten winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties of different ripeness groups served as the material for the research. The experimental plot size was 10 m<sup>2</sup>, six replicates. Position of the plots – randomized. Seeding rate – 5.5 million viable seeds per ha. The growing season of 2015/16 and 2016/17 was characterized by favorable weather conditions; Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) during these years was 1.10 and 1.18, respectively. It was found that the share of influence of the factor “variety” in the total variability of the number, length of germinal and nodal roots was 54.1 %, 44.2 % and 87.0 %, 75.2 %, respectively; “year” – 12.0 %, 18.1 % and 11.9 %, 18.2 %, respectively. Over the years of research, the most winter-hardy (on average 81-86 %) and high-yielding (on average 4.58-5.71 t/ha) winter wheat varieties were mid-season “Fotinya”, “Klavdiya 2”, “Bezenchukskaya 380”, “Skipetr”, “Orenburgskaya 105”. Compared to early-ripening varieties, they formed a larger number of germinal (on average 5.4-6.2) and nodal (on average 9.5-12.6) roots. We noted a positive correlation between winter hardiness/productivity and main parameters of the root system of winter wheat varieties. Mid-season varieties should be used in breeding programs as initial material for improving winter hardiness.*

**Keywords:** *winter wheat (*Triticum aestivum* L.), variety, winter hardiness, yield, root system.*

Косенко Светлана Валентиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 442731, Россия, Пензенская область, р. п. Лунино, ул. Мичурина, 1 Б; e-mail: kosenkosv@mail.ru.

Kosenko Svetlana Valentinovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, FSBSI “Federal Research Center for Bast Fiber Crops”; 1 B, Michurina str., village of Lunino, Penza Region, Russia; e-mail: kosenkosv@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 10.01.2022.*

*Дата принятия к печати – 10.03.2022.*

УДК 581:3: 576.3:576.535:577.175.152  
EDN HEBDGL

Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А.

**ЭМБРИОГЕНЕЗ *IN VIVO* ЗАСУХОУСТОЙЧИВЫХ РЕГЕНЕРАНТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭМБРИОКУЛЬТУРЕ *IN VITRO***

Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение  
ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

**Реферат.** Разработанная авторами модификация биотехнологического метода селективной эмбриокультуры *in vitro* автономных зародышей с введением в состав питательной среды 8 % маннита для моделирования условий засухи позволяет получать засухоустойчивые регенеранты яровой мягкой пшеницы. Важно проанализировать эмбриональные показатели засухоустойчивых регенерантов в полевых условиях *in vivo*. Цель работы состояла в изучении эмбриогенеза *in vivo* засухоустойчивых регенерантов яровой мягкой пшеницы гибрида Л42938 × Салават Юлаев, отобранных в селективной эмбриокультуре *in vitro* (опыт), в вегетационные сезоны 2020 г. (умеренно влажный год) и 2021 г. (засушливый год). Проведено сравнение с аналогичными показателями незасухоустойчивого гибрида яровой мягкой пшеницы Боевчанка × Ирень (контроль). Исследования проводили в Уфимском районе Республики Башкортостан. Использовали методы искусственного опыления, фенологических наблюдений и светооптического анализа. Установлено, что зародыши обоих гибридов в оба года исследований развивались согласно Graminad-типу эмбриогенеза, при этом последовательно проходили стадии зиготы (0,5 сут после опыления), двуклеточного (1,5 сут после опыления), четырехклеточного (2,5 сут после опыления), многоклеточного (4,0 сут после опыления) зародыша, стадию органогенеза (5,5–23,0 сут после опыления). Зрелые зародыши формировались к 25,0 сут после опыления и характеризовались типичным для злаков строением. В умеренно влажный 2020 г. зародыши и в опыте, и в контроле развивались без отклонений от нормы. Воздействие повышенной температуры воздуха в засушливый 2021 г. не оказало влияния на процесс эмбриогенеза и структуру развивающихся зародышей засухоустойчивых регенерантов (опыт), однако привело к остановке в развитии, аномалиям структуры и дегенерации 24,1 % зародышей на разных стадиях эмбриогенеза незасухоустойчивого гибрида (контроль). Сделан вывод о целесообразности использования засухоустойчивых регенерантов, полученных в селективной эмбриокультуре *in vitro*, в селекционных программах, направленных на ускоренное создание устойчивых к дефициту влаги районированных сортов яровой мягкой пшеницы.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., эмбриогенез *in vivo*, селективная эмбриокультура *in vitro*, засухоустойчивость.

**Для цитирования:** Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А. Эмбриогенез *in vivo* засухоустойчивых регенерантов яровой мягкой пшеницы, полученных в эмбриокультуре *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 65–78. EDN: HEBDGL.

**For citation:** Kruglova N. N., Seldimirova O. A. Embryogenesis *in vivo* of drought-resistant regenerants of spring soft wheat obtained by embryo culture *in vitro* // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 65–78. EDN: HEBDGL.

### Введение

Засуха как один из наиболее распространенных абиотических стресс-факторов приводит к значительным потерям урожая сельскохозяйственных

растений [1]. Селекционеры разрабатывают различные способы создания засухоустойчивых сортов экономически важных культур, в том числе основного хлебного злака – пшеницы [2–4].

Эффективность селекционных программ по созданию засухоустойчивых районированных сортов пшеницы во многом базируется на реализации адаптивного потенциала уже имеющихся и вновь создаваемых генотипов. Более полно выявить различные адаптивные программы развития селекционных образцов позволяет биотехнологический метод культивирования разновозрастных зиготических зародышей (эмбриокультура *in vitro*) [5]. При оценке способности генотипа противостоять засухе зародыши инокулируют на селективные питательные среды, в состав которых введены осмотические имитаторы засухи (сахароза, маннит, сорбит, полиэтиленгликоль и др.) эмпирически подобранных концентраций; генотип оценивается как засухоустойчивый в случае формирования из зародышей в условиях *in vitro* и *ex vitro* фертильных регенерантов с нормально развитыми семенами [6]. Для злаков установлено, что в качестве эксплантов перспективно использование именно незрелых зародышей, наиболее отзывчивых на условия селективной эмбриокультуры *in vitro* в силу как эпигенетической модификации ДНК, так и наличия специфических транскрипционных факторов [7]. Особый интерес в этом отношении вызывают незрелые зародыши, находящиеся в стадии автономности (у пшеницы 15–17 сут после опыления) и тем самым способные завершить эмбриогенез вне материнского организма [8].

На основе использования автономных незрелых зародышей с учетом их цитофизиологических показателей нами разработана модификация метода селективной эмбриокультуры *in vitro* яровой мягкой пшеницы, направленная на получение устойчивых к засухе регенерантов [9]. Модификация прошла апробацию на примере 17 генотипов (сортов и гибридных линий) этого хлебного злака. Было установлено, что полученные засухоустойчивые регенеранты по последовательности прохождения и продолжительности фенологических фаз в лабораторных условиях *ex vitro* развиваются сходно с развитием донорных растений в полевых условиях *in vivo*; такие регенеранты формируют зрелые зерновки высокого качества, что подтверждается показателями их лабораторной всхожести [10].

Однако, чтобы рекомендовать данную модификацию к массовому биотехнологическому применению в селекционных целях создания засухоустойчивых генотипов пшеницы, важно проанализировать эмбриональные показатели регенерантов в полевых условиях *in vivo*. Хорошо известно, что в основе формирования качественных семян лежит нормальное прохождение зародышем всех стадий эмбриогенеза. Следует отметить, что предложенный нами эмбриологический подход к исследованию регенерантов хлебных злаков, как показывает анализ доступной литературы, оригинален в биотехнологической практике.

**Цель исследований** – изучение эмбриогенеза *in vivo* засухоустойчивых регенерантов яровой мягкой пшеницы, отобранных в селективной эмбриокультуре *in vitro* автономных зародышей.

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

Материалом для исследований послужили засухоустойчивые регенеранты яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. гибридной линии Л42938 × Салават Юлаев. Регенеранты были ранее отобраны в эмбриокультуре *in vitro* автономных зародышей на селективном фоне с введением 8 % маннита для моделирования засухи [10]. В качестве контроля использовали растения яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. гибридной линии Боевчанка × Ирень. Ранее эта линия в тех же условиях эмбриокультуры *in vitro* была оценена как незасухоустойчивая, не

формирующая регенеранты [10], поэтому в данных исследованиях использовали зрелые зерновки исходных растений.

Исследования проводили на опытных участках научного стационара Уфимского института биологии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук». Стационар расположен в Уфимском районе Республики Башкортостан (54.35° с. ш., 55.37° в. д.); почва территории стационара – чернозем выщелоченный [11].

Опытные и контрольные растения выращивали в течение весенне-летних сезонов 2020 г. и 2021 г. В Уфимском районе в этот период 2020 г. зарегистрирована среднемесячная температура воздуха в мае +13,6 °С, июне – +17,3 °С, июле – +18,9 °С, августе – +18,6 °С [12]; в соответствующий период 2021 г. этот показатель составил в мае +16,7 °С, июне – +19,1 °С, июле – +21,9 °С, августе – +20,7 °С [13]. По данным Башкирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, на основании показателей стандартизированных индексов осадков и испаряемости 2020 г. отнесен к умеренно влажным, 2021 г. – к засушливым годам [14].

В каждый год исследования высевали по 100 зрелых зерновок опытного и контрольного образцов.

Наступление фенологических фаз развития растений в опыте и контроле оценивали по [15].

Учитывая, что пшеница – это самоопыляющееся растение [15], во время фенологической фазы цветения (вторая декада июля каждого года исследований) зрелой пылью опытных и контрольных растений провели искусственное опыление собственных 10 цветков средней трети главного колоса. В каждом случае выборка составляла 25 главных колосьев 25 растений; в целом, в оба года исследования провели искусственное опыление по 250 цветков в опыте и контроле.

В течение 25 сут (вторая декада июля – вторая декада августа каждого года исследования, во время которых наблюдали фенологические фазы цветения, молочной, восковой и полной спелости зерна) через каждые 0,5 сут после опыления (СПО) развивающиеся зародыши опытных и контрольных растений фиксировали в реактиве Чемберлена [16], при этом на каждый срок выборочно фиксировали по 5 зародышей с главных колосьев разных растений. Всего в опыте и контроле в каждый год исследования провели по 48 фиксаций, зафиксировали по 240 зародышей на последовательных стадиях развития. Зародыши до времени исследования хранили в реактиве Чемберлена в условиях холодильной камеры POZIS (РФ) при +4 ...+8 °С.

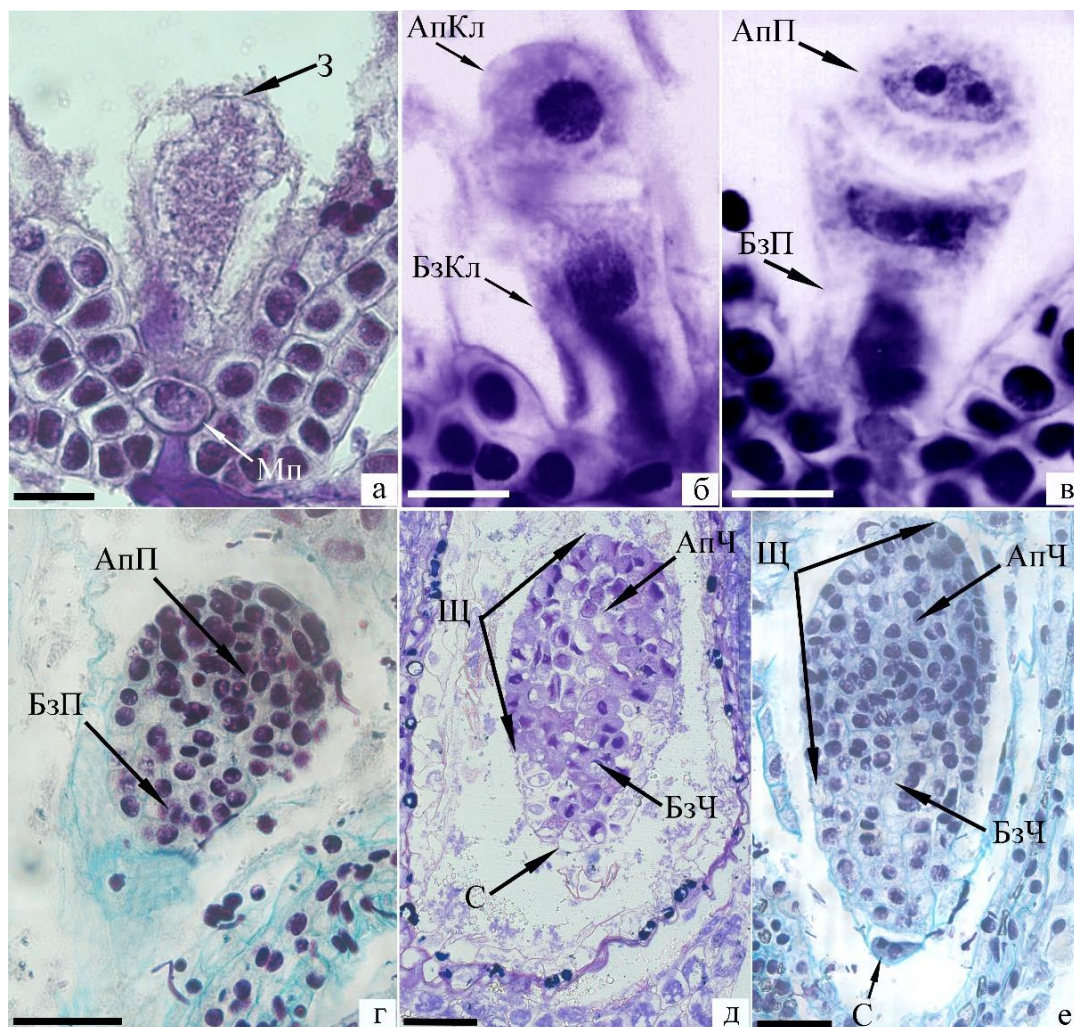
Постоянные гистологические препараты зародышей каждого срока фиксации готовили по [16] с окрашиванием толуидиновым синим или тройным окрашиванием реактивом Шиффа, гематоксилином по Эрлиху, алциановым синим.

Препараты анализировали с использованием микроскопа проходящего света Axio Imager A1 (Carl Zeiss, Germany), оснащенного объективом EC Plan-NEOFLURAL 10×0,3. Наиболее удачные препараты зародышей каждого срока фиксации фотографировали с использованием цифровой фотокамеры AxioCam MRc5 с программным обеспечением Axio Vision 4.7 (Carl Zeiss, Germany).

### **Результаты и их обсуждение**

Сравнительный анализ гистологических препаратов развивающихся зародышей засухоустойчивых регенерантов гибридной линии Л42938 × Салават Юлаев показал сходство процесса эмбриогенеза в оба года исследований. Приведем данные, полученные в засушливом 2021 г.

Через 0,5 СПО в микропиллярной зоне зародышевого мешка выявлялась зигота. В этой клетке крупное ядро и большая часть цитоплазмы располагались в апикальной части, а большая вакуоль – в базальной (рисунок 1 а). Таким образом, зиготе уже с момента возникновения свойственна полярность в виде существования апикально-базальной оси, отражающей дифференцированное состояние клетки и, по мнению некоторых исследователей [17], служащей основой полярности будущего зародыша цветковых растений. Считается, что и дорсовентральность строения, характерная для зародышей злаков, начинает устанавливаться также на стадии зиготы, как это показано на примере пшеницы в модельных условиях *in vitro* [18].



**Рисунок 1 – Зародыши регенерантов гибрида пшеницы Л42938 × Салават Юлаев через 0,5–7,5 сут после опыления**

**Примечания:** а – зигота, продольный срез, 0,5 сут после опыления; б – двухклеточный зародыш, продольный срез, 1,5 сут после опыления; в – четырехклеточный зародыш, продольный срез, 2,5 сут после опыления; г – многоклеточный зародыш, продольный срез, 4,0 сут после опыления; д – заложение щитка в многоклеточном зародыше, продольный срез, 5,5 сут после опыления; е – смещение щитка в многоклеточном зародыше, продольный срез, 7,5 сут после опыления. АпКл – апикальная клетка, АпП – апикальный полюс, АпЧ – апикальная часть, БзКл – базальная клетка, БзП – базальный полюс, БзЧ – базальная часть, З – зигота, МП – микропиле, С – суспензор, Щ – щиток. Масштаб: а–в – 20 мкм; г–е – 50 мкм.

На 1,5 СПО зигота делилась с образованием двухклеточного зародыша. При этом в результате асимметричного деления зиготы формировались две неравные клетки: более мелкая апикальная и более крупная базальная (рисунок 1, б). Такие структурные различия сопряжены с функциональными различиями в процессе преобразований каждой из клеток в ходе дальнейшего развития зародыша [19]. Таким образом, именно у двухклеточного зародыша впервые проявлялась специализация клеток.

Два последующих, также асимметричных, деления апикальной и базальной клеток приводили к формированию четырехклеточного зародыша на 2,5 СПО. Такой зародыш характеризовался наличием двух клеток апикального (будущего побегового) и двух клеток базального (будущего корневого) полюсов (рисунок 1 в). Следует отметить, что фигура деления располагалась наклонно к продольной оси двухклеточного зародыша. Высказано мнение, что такое наклонное положение клеточной перегородки влияет на дальнейшее формирование дорсовентральности строения зародыша [20].

На 4,0 СПО в результате интенсивных делений клеток апикального и базального полюсов формировался многоклеточный зародыш. Предполагается [21], что зародыш при этом накапливает критическую массу, необходимую для формирования органов. Зародыш рос в основном в продольном направлении, а процесс деления клеток отмечался главным образом на апикальном полюсе (рисунок 1 г).

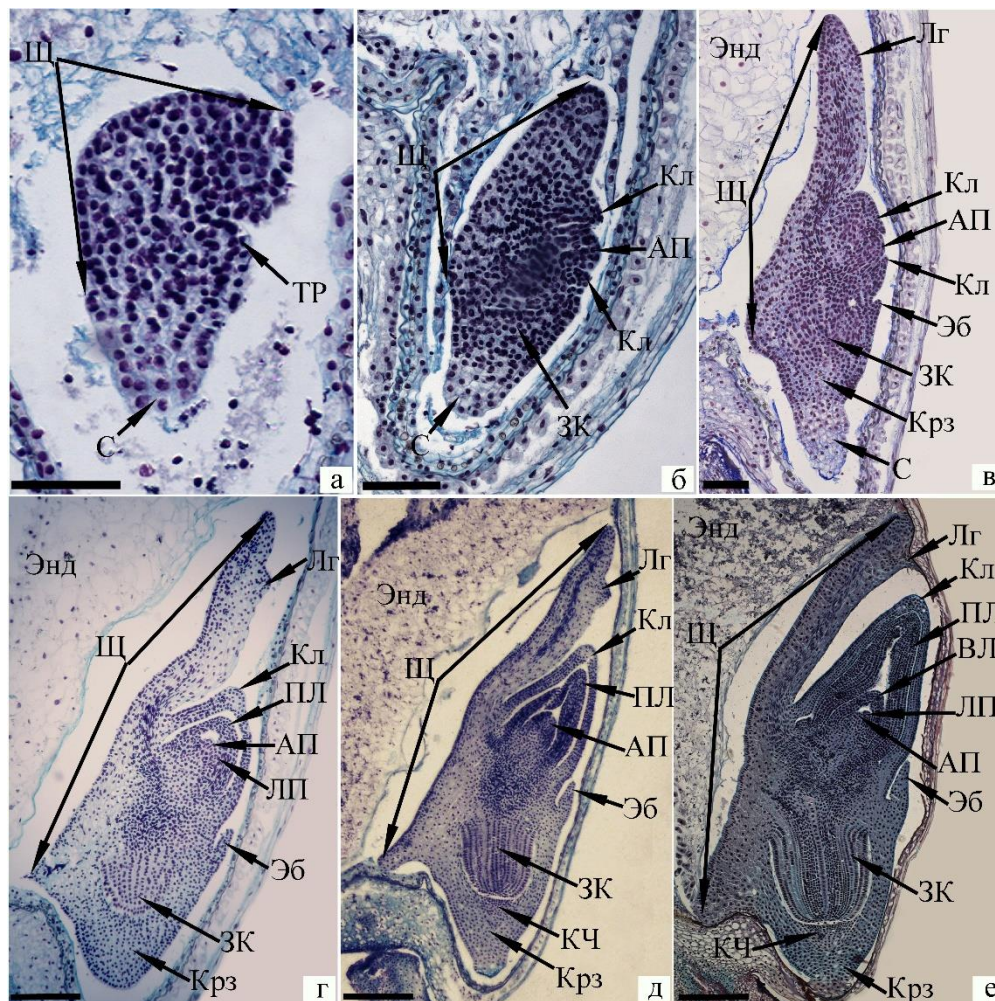
Дальнейшее развитие связано с морфологической дифференциацией клеточной массы зародыша, что приводило к формированию органов. Первым из органов на 5,5 СПО латерально формировался щиток – единственная семядоля. При этом продолжались интенсивные клеточные деления в апикальной части зародыша. В базальной же части зародыша клетки значительно увеличивались в размерах, сильно вакуолизировались, в них уменьшалось количество цитоплазмы. Базальную часть такого зародыша следует определить как суспензор (рисунок 1 д). На 7,5 СПО в зародыше происходили сложные клеточные преобразования, в результате которых щиток из латерального положения постепенно смещался в терминальное (рисунок 1 е).

На 10,5 СПО в апикальной части зародыша под щитком формировалась точка роста (будущий апекс побега) в виде очага меристематических клеток (рисунок 2 а).

На 13,0 СПО опыления точка роста преобразовалась в апекс побега. Формировался следующий орган – колеоптиль, имевший вид полого конуса с расположенным в верхней его части щелевидным отверстием. В базальной части зародыша происходило эндогенное обособление меристемы главного зародышевого корня. Щиток приобретал вытянутую форму (рисунок 2 б).

В ходе дальнейшего развития зародыша, на 15,5 СПО после опыления, отверстие колеоптиля сужалось. В области под колеоптилем формировался ещё один орган – эпибласт. Главный зародышевый корень удлинялся в базальном направлении, под ним формировался следующий орган – колеориза (корневое влагалище). Щиток сильно удлинялся, на его брюшной стороне в виде выроста формировалась лигула (рисунок 2 в). Со стороны щитка формировалась питающая ткань – эндосперм (анализ формирования и развития эндосперма не входил в наши задачи).

Формирование органов зародыша полностью завершалось на 17,0 СПО. В сформированном зародыше отмечались все характерные для злаков [22] органы: семядоля-щиток с выростом-лигулой, колеоптиль, эпибласт, зародышевый корень, колеориза, а также почечка, состоявшая из апекса побега, первого листа и примордия второго листа (рисунок 2 г).



**Рисунок 2 – Зародыши регенерантов гибрида пшеницы Л42938 × Салават Юлаев через 10,5–25,0 сут после опыления**

**Примечания:** а – формирование точки роста, продольный срез, 10,5 сут после опыления; б – формирование апекса побега и главного зародышевого корня, продольный срез, 13,0 сут после опыления; в – формирование эпибласта, колеоризы, лигулы, продольный срез, 15,5 сут после опыления; г – сформированный зародыш, продольный срез, 17,0 сут после опыления; д – формирование корневого чехлика, продольный срез, 21,0 сут после опыления; е – зрелый зародыш, продольный срез, 25,0 сут после опыления. АП – апекс побега, ВЛ – второй лист, ЗК – главный зародышевый корень, Кл – колеоптиль, Крз – колеориза, КЧ – корневой чехлик, Лг – лигула, ЛП – листовая примордий, ПЛ – первый лист, С – суспензор, ТР – точка роста, Щ – щиток, Эб – эпибласт, Энд – эндосперм. Масштаб: а–в – 100 мкм; г–е – 400 мкм.

Далее (21,0–25,0 СПО) происходил активный рост зародыша благодаря растяжению составляющих его клеток. На 21,0 СПО зародышевый корень полностью отделялся от колеоризы; формировался корневой чехлик (рисунок 2 д). На 23,0 СПО в почечке закладывался второй лист (данные не приведены).

Зародыш на 25,0 СПО является зрелым (рисунок 2 е). Каждый из сформировавшихся органов зрелого зародыша злаков играет определенную роль. Так, основная функция щитка – установление связи между питательной тканью – эндоспермом и всеми органами зародыша; колеоптиль служит для защиты конуса нарастания при «пробивании» почвы прорастающей зерновкой; колеориза и эпибласт участвуют в поставке воды развивающемуся зародышу [22].



Таким образом, в своем развитии зародыши засухоустойчивых регенерантов гибридной линии яровой мягкой пшеницы Л42938 × Салават Юлаев в условиях выполненных исследований в умеренно влажный (2020 г.) и засушливый (2021 г.) годы последовательно проходили стадии зиготы (0,5 СПО), двухклеточного (1,5 СПО), четырехклеточного (2,5 СПО), многоклеточного (4,0 СПО) зародыша, а также длительную стадию органогенеза (5,5–23,0 СПО). Зрелые зародыши формировались на 25,0 СПО и содержали типичные для злаков органы. В целом, эмбриогенез по последовательности прохождения стадий развития и их длительности протекал согласно Graminad-типу, характерному для представителей семейства злаков [21]. Полученные эмбриональные результаты в оба года исследований полностью совпадают с литературными данными по эмбриогенезу яровой мягкой пшеницы сорта Диамант [14] и озимой мягкой пшеницы сортов Мечта 1 и Мироновская 808 [23], а также с результатами проведенного нами ранее исследования эмбриогенеза яровой мягкой пшеницы гибридной линии Фотос [24]. Важно подчеркнуть, что засушливые условия 2021 г. не оказали влияния на нормальный ход эмбриогенеза засухоустойчивых регенерантов.

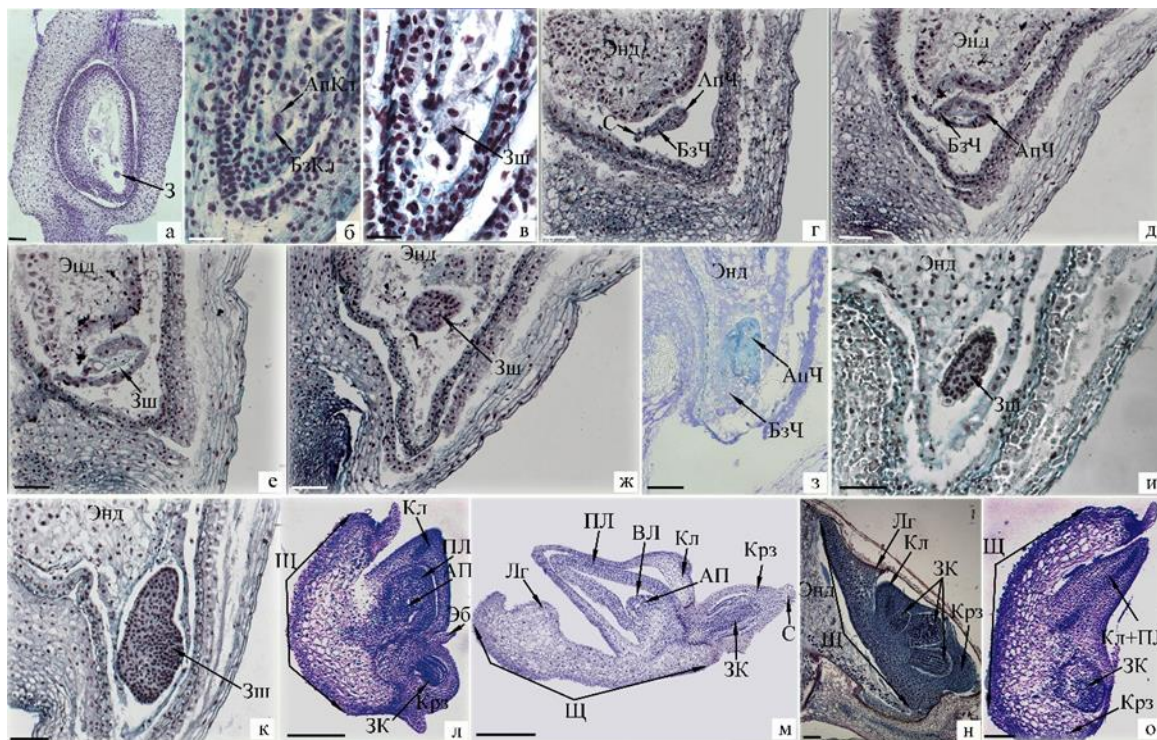
Несколько иные результаты получены при анализе гистологических препаратов зародышей незасухоустойчивой гибридной линии яровой мягкой пшеницы Боевчанка × Ирень. Установлено, что в целом развитие зародышей этого гибрида в оба года исследований по последовательности и длительности стадий эмбриогенеза не отличалось от аналогичных событий у засухоустойчивых регенерантов, однако в засушливый 2021 г. отмечены различные аномалии и дегенерации структуры части развивающихся зародышей практически на всех стадиях эмбриогенеза.

Так, на 0,5 СПО выявлены случаи потери полярности зиготой (рисунок 3 а), на 1,5 СПО – равные по объему апикальная и базальная клетки двухклеточного зародыша как результат аномального деления зиготы (рисунок 3 б), на 2,5 СПО – четырехклеточный зародыш аномального строения (рисунок 3 в). На 4,5–7,5 СПО отмечена дегенерация некоторых многоклеточных зародышей, при этом зародыши располагались или поперечно относительно продольной оси формирующейся зерновки, то есть аномально (рисунок 3 г-ж), или сохраняли продольное расположение (рисунок 3 з). Важно отметить, что сопряженно с дегенерацией зародышей дегенерировал и эндосперм (рисунок 3 а-з). В ряде случаев отмечена остановка в развитии зародышей: на 13,5 СПО выявлены зародыши ещё в многоклеточной стадии (рисунок 3 и), на 21,0 СПО – зародыши ещё в стадии органогенеза (рисунок 3 к). Отмечены аномалии и в структуре некоторых зрелых зародышей на 25,0 СПО: боковое расположение главного зародышевого корня (рисунок 3 л), нарушения морфологии щитка, колеоптиля и колеоризы (рисунок 3 м), формирование дополнительного главного зародышевого корня (рисунок 3 н), сростание колеоптиля и первых листьев (рисунок 3 о).

Количество таких отклонений от нормы отмечено у 58 из 240 просмотренных зародышей (24,1 %).

Известно, что развивающиеся зародыши пшеницы чувствительны к действию температур воздуха даже на доли градуса выше оптимальной [25]. Физиологически оптимальной температурой воздуха в период формирования и созревания зерновок (и, соответственно, развития зародыша) яровой пшеницы в полузасушливых агроклиматических зонах, к каким относится Южный Урал [26], считается показатель +19,0 °С [27]. В умеренно влажный 2020 г. среднемесячные показатели температуры воздуха во время эмбриогенеза изученных гибридных комбинаций в регионе проведения полевых исследований составили в июле +18,9 °С, в августе

+18,6 °С [12], то есть почти соответствовали физиологически оптимальной температуре. В соответствующие периоды засушливого 2021 г. эти показатели составили в июле +21,9 °С, в августе – +20,7 °С [13], то есть были выше физиологически оптимальной температуры.



**Рисунок 3 – Зародыши гибрида пшеницы Боевчанка×Ирень через 0,5–25,0 сут после опыления**

**Примечания:** а – аномальная неполяризованная зигота, продольный срез, 0,5 сут после опыления; б – аномальный двухклеточный зародыш с равными клетками, продольный срез, 1,5 сут после опыления; в – четырехклеточный зародыш аномальной строения, продольный срез, 2,5 сут после опыления; дегенерация многоклеточных зародышей на 4,5 (г), 5,0 (д), 5,5 (е), 6,0 (ж), 7,5 (з) сут после опыления, продольные срезы; и – многоклеточный зародыш, продольный срез, 13,5 сут после опыления; к – зародыши в стадии органогенеза, продольный срез, 21,0 сут после опыления; аномалии структуры зрелых зародышей на 25,0 сут после опыления: боковое расположение главного зародышевого корня (л), нарушения морфологии щитка, колеоптиля и колеоризы (м), формирование дополнительного зародышевого корня (н), срастание колеоптиля и первых листьев (о).

АП – апекс побега, АпК – апикальная клетка, АпЧ – апикальная часть, БзК – базальная клетка, БзЧ – базальная часть, ВЛ – второй лист, З – зигота, ЗК – главный зародышевый корень, Зш – зародыш, КЛ – колеоптиль, Крз – колеориза, Лг – лигула, ПЛ – первый лист, С – суспензор, Щ – щиток, Эб – эпибласт, Энд – эндосперм. Масштаб: а, г, д–к – 100 мкм, б, в – 50 мкм, л, м – 500 мкм, н – 200 мкм, о – 250 мкм.

Почти четверть зародышей незасухоустойчивой гибридной линии Боевчанка × Ирень практически на всех стадиях эмбриогенеза оказалась чувствительной к воздействию температуры воздуха выше физиологического оптимума (2021 г.), что выразилось в аномалиях и дегенерации структуры зародышей или остановке их развития. Полученные данные во многом совпадают с крайне немногочисленными литературными сведениями о влиянии повышенного температурного фактора на структуру развивающихся зародышей пшеницы в полевых условиях. Так, авторы работы [23], анализируя результаты гистологического анализа зародышей озимой мягкой пшеницы на последовательных стадиях эмбриогенеза при выращивании в полевой лаборатории, также выявили

аномалии в строении зародышей при повышенных температурах, однако только во второй половине эмбриогенеза.

В то же время эмбриогенез засухоустойчивых регенерантов гибридной линии Л42938 × Салават Юлаев в условиях умеренной влажности (2020 г.) и засушливости (2021 г.), а также эмбриогенез незасухоустойчивой гибридной линии Боевчанка × Ирень при умеренной влажности (2020 г.) проходил без всяких отклонений от нормы на всех стадиях от зиготы до зрелой структуры.

Результаты, полученные для обеих изученных гибридных линий, подтверждают данные о важнейшей роли генотипа в реакции растений на дефицит влаги [28]. Кроме того, эти данные, по нашему мнению, свидетельствуют о верной оценке признака «засухоустойчивость» у гибридной линии Л42938 × Салават Юлаев в селективной эмбриокультуре *in vitro*.

Важно обсудить и такой вопрос. При разработке современных биотехнологий хозяйственно ценных растений с использованием методов культуры *in vitro* необходимо решать различные генетические проблемы – от сохранения геномной стабильности [29] до направленного индуцирования изменений в геноме на основе биологических феноменов соматической и эпигенетической изменчивости [30, 31]. В последнем случае изменчивость генома индуцируется на начальных этапах таких биотехнологий, во время культивирования *in vitro* эксплантов на питательных средах, в состав которых, как правило, входят гормоны и иные возможные индукторы генетических изменений. Полученные регенеранты с измененным геномом проходят жесткий отбор на последующих этапах культивирования *in vitro*, а также в условиях *ex vitro*. Дальнейшее развитие прошедших такой отбор плодоносящих регенерантов в условиях *in vivo* протекает уже без отклонений от нормы. По крайней мере, согласно полученным нами данным, для гибридной линии Л42938 × Салават Юлаев, это справедливо в отношении эмбриональных признаков, весьма консервативных в эволюционном плане [32].

В целом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности использования как разработанной авторами модификации метода селективной эмбриокультуры *in vitro* автономных зародышей, так и полученных засухоустойчивых регенерантов в селекционных программах, направленных на создание устойчивых к дефициту влаги районированных сортов яровой мягкой пшеницы. Безусловно, засухоустойчивость относится к мультигенным признакам, и для достоверного выявления этого признака у вновь созданных гибридных комбинаций пшеницы необходимо комплексное привлечение различных методов и подходов, как это подчеркивается в обобщении [33]. В то же время применение селективной эмбриокультуры *in vitro* автономных зародышей, при относительности полученных результатов, дает возможность провести быструю первичную оценку степени засухоустойчивости новых селекционных форм пшеницы на самых ранних этапах онтогенеза, уже через 15–17 сут после их получения методом гибридизации. Безусловно, это приводит к существенному выигрышу во времени в сравнении с оценкой устойчивости селекционных образцов к дефициту влаги традиционными полевыми методами [34].

### Выводы

В данной работе представлены результаты изучения эмбриогенеза засухоустойчивых регенерантов яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. гибридной линии Л42938 × Салават Юлаев (опыт) в сравнении с эмбриогенезом незасухоустойчивой гибридной линии Боевчанка × Ирень (контроль) в полевых условиях *in vivo* в вегетационные сезоны 2020 г. (умеренно влажный год) и 2021 г. (засушливый год). В условиях выполненных исследований зародыши обеих

гибридных линий в оба года исследования развивались согласно характерному для злаков Graminad-типу эмбриогенеза, при этом последовательно проходили стадии зиготы (0,5 СПО), двухклеточного (1,5 СПО), четырехклеточного (2, 5 СПО), многоклеточного (4,0 СПО) зародыша, стадию органогенеза (5,5–23,0 СПО). Зрелые зародыши формировались на 25,0 СПО и содержали типичные для злаков органы: щиток с выростом-лигулой, колеоптиль, эпибласт, зародышевый корень, колеоризу, а также почечку, состоящую из апекса побега, первого листа и примордия второго листа. В умеренно влажный 2020 г. зародыши и в опыте, и в контроле развивались без отклонений от нормы. Среднемесячные показатели температуры воздуха в засушливый 2021 г. при прохождении эмбриогенеза (+21,9 °С в июле, +20,7 °С в августе) были выше физиологического оптимума для эмбриогенеза пшеницы (+19,0 °С), однако не оказали влияния на процесс эмбриогенеза и структуру развивающихся зародышей засухоустойчивых регенерантов. В то же время 24,1 % просмотренных зародышей незасухоустойчивой гибридной линии оказались чувствительными к воздействию неблагоприятного повышения температуры воздуха, что выразилось в аномалиях и дегенерации структуры зародышей или остановке их развития.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности использования как разработанной авторами модификации метода селективной эмбриокультуры *in vitro* автономных зародышей, так и полученных засухоустойчивых регенерантов в селекционных программах, направленных на создание устойчивых к дефициту влаги районированных сортов яровой мягкой пшеницы.

*Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему лабораторией селекции и пшеницы Башкирского НИИ СХ УФИЦ РАН к.с.-х.н. В.И. Никонову за материал для исследований, предоставленный согласно договору о сотрудничестве между институтами (2018–2023 гг.).*

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190099-6 с использованием оборудования Центра коллективного пользования УФИЦ РАН «Агидель».*

### Литература

1. Plant life under changing environment: responses and management / Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. 1020 p. DOI: 10.1016/C2018-1-02300-8.
2. Mwadzingeni L., Shimelis H., Dube E., Laing M. D., Tsilo T. J. Breeding wheat for drought tolerance: progress and technologies // Journal of Integrative Agriculture. 2016. Vol. 15. No. 5. P. 935–943. DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61102-9.
3. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2019. Vol. 8. No. 9. P. 1780–1792. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.809.206.
4. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F., Baenziger P. S., Borner A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20. No. 13. DOI: 10.3390/ijms20133137.
5. Kumari P., Thaneshwari R. Embryo rescue in horticultural crops // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7. P. 3350–3358. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.706.393.
6. Круглова Н. Н., Сельдмирова О. А., Зинатуллина А. Е. Эмбриокультура *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127-144.
7. Baillo E. H., Kimotho R. N., Zhang Z., Xu P. Transcription factors associated with abiotic and biotic stress tolerance and their potential for crops improvement // Genes. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3390/genes10100771.

8. Kruglova N. N., Titova G. E., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E., Veselov D. S. Embryo of flowering plants at the critical stage of embryogenesis relative autonomy (by example of cereals) // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2020. Vol. 51. No. 1. P. 1–15. DOI: 10.1134/S1062360420010026.
9. Кулеву Б. Р., Круглова Н. Н., Зарипова А. А., Фархутдинов Р. Г. Основы биотехнологии растений. Уфа: изд-во Башкирского государственного университета, 2017. 244 с.
10. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е., Никонов В. И. Выявление засухоустойчивых генотипов пшеницы в культуре незрелых зародышей *in vitro* // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 52. № 4. С. 37–41. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-37-41.
11. Почвы Башкортостана. Т. 1. Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика. Уфа: Гилем, 1995. 385 с.
12. Метеосводка за 2020 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.meteoservice.ru/archive/ufa/2020> (дата обращения 02.10.2021).
13. Метеосводка за 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.meteoservice.ru/archive/ufa/2021> (дата обращения 02.10.2021).
14. Гидрометеоинформация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.meteorb.ru/about/gidrometeorologicheskaya-informatsiya> (дата обращения 02.10.2021).
15. Батыгина Т. Б. Хлебное зерно. Л.: Наука, 1987. 99 с.
16. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1980. 304 с.
17. Harnvanichvech Y., Gorelova V., Sprakel J., Weijers D. The *Arabidopsis* embryo as a quantifiable model for studying pattern formation // *Quantitative Plant Biology*. 2021. Vol. 2. P. 1–13. DOI: 10.1017/qpb.2021.3.
18. Maryenti T., Kato N., Ichikawa M., Okamoto T. Establishment of an *in vitro* fertilization system in wheat *Triticum aestivum* L.) // *Plant Cell Physiology*. 2019. Vol. 60. No. 4. P. 835–843. DOI: 10.1093/pcp/pcy250.
19. Tian R., Paul P., Joshi S., Perry S.E. Genetic activity during early plant embryogenesis // *Biochemical Journal*. 2020. Vol. 477. P. 3743–3767. DOI: 10.1042/BCJ20190161.
20. Chakraborty B., Willemsen V., de Zeeuw T., Liao C. Y., Weijers D., Mulder B., Scheres B. A plausible microtubule-based mechanism for cell division orientation in plant embryogenesis // *Current Biology*. 2018. Vol. 28. P. 3031–3048. DOI: 10.1016/j.cub.2018.07.025.
21. Батыгина Т. Б. Биология развития растений. Санкт-Петербург: ДЕАН, 2014. 764 с.
22. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Structural features and hormonal regulation of the zygotic embryogenesis in cereals // *Biology Bulletin Reviews*. 2020. Vol. 10. No. 2. P. 115–126. DOI: 10.1134/S2079086420020048.
23. Основы эмбриогенеза злаков // Под ред. Яковлева М. С. Киев: Наукова думка, 1991. 176 с.
24. Seldimirova O. A., Kruglova N. N., Titova G. E., Batygina T. B. Comparative ultrastructural analysis of the *in vitro* microspore embryoids and *in vivo* zygotic embryos of wheat as a basis for understanding of cytophysiological aspects of their development // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2017. Vol. 48. No. 3. P. 185–197. DOI: 10.1134/S1062360417030109.
25. Farooq M., Bramley H., Palta J. A., Siddique K. H. M. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2011. Vol. 30. No. 6. P. 491–507. DOI: 10.1080/07352689.2011.615687.
26. Агроклиматические ресурсы Башкирской АССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 234 с.
27. Khan A., Ahmad M., Ahmed M., Hussain I. M. Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 43. DOI: 10.3390/plants10010043.
28. Kumar M., Patel M. K., Kumar N., Bajpei A. B., Siddique K. H. M. Metabolomics and molecular approaches reveal drought stress tolerance in plants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. No. 17. DOI: 10.3390/ijms22179108.
29. Егорова Н. А. Биотехнология эфиромасличных растений: создание новых форм и микроразмножение *in vitro*. Симферополь: ИД «Автограф», 2021. 315 с. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
30. Bednarek P. T., Orłowska R. Plant tissue environment as a switch-key of (epi)genetic changes // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2020. Vol. 140. P. 245–257. DOI: 10.1007/s11240-019-01724-1.
31. Jacquier N. M. A., Gilles L. M., Martinant J.-P., Rogowsky P. M., Widiez T. Maize *in planta* haploid inducer lines: a cornerstone for doubled haploid technology // *Methods in Molecular Biology*. 2021. Vol. 2288. P. 25–48. DOI: 10.1007/978-1-0716-1335-1\_2.
32. Radoeva T., Vaddepalli P., Zhang Z., Weijers D. Evolution, initiation, and diversity in early plant embryogenesis // *Developmental Cell*. 2019. Vol. 50. No. 5. P. 533–543. DOI: 10.1016/j.devcel.2019.07.011.

33. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т., Хоменко С., Гуменюк О., Харченко М., Прокопик Н. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці // Вісник Львівського університету. Серія: біологічна. 2020. Вип. 82. С. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.

34. Sattar S., Afzal R., Bashir I., Shahid A. Biochemical, molecular and morpho-physiological attributes of wheat to upgrade grain production and compete with water stress // International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research. 2019. Vol. 3. No. 3. P. 510–528. DOI: 10.29329/ijjaar.2019.206.16.

## References

1. Plant life under changing environment: responses and management // Ed. by Tripathi D. K. Academic Press (Elsevier), 2020. 1020 p. DOI: 10.1016/C2018-1-02300-8.

2. Mwadzingeni L., Shimelis H., Dube E., Laing M. D., Tsilo T. J. Breeding wheat for drought tolerance: progress and technologies // Journal of Integrative Agriculture. 2016. Vol. 15. No. 5. P. 935–943. DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61102-9.

3. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2019. Vol. 8. No. 9. P. 1780–1792. DOI: 10.20546/ijemas.2019.809.206.

4. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F., Baenziger P. S., Borner A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20. No. 13. DOI: 10.3390/ijms20133137.

5. Kumari P., Thaneshwari R. Embryo rescue in horticultural crops // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7. P. 3350–3358. DOI: 10.20546/ijemas.2018.706.393.

6. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Embryo culture *in vitro* in the experimental evaluation of drought resistance in cereals (review) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2(26). P. 127–144. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-127-144.

7. Baillo E. H., Kimotho R. N., Zhang Z., Xu P. Transcription factors associated with abiotic and biotic stress tolerance and their potential for crops improvement // Genes. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3390/genes10100771.

8. Kruglova N. N., Titova G. E., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E., Veselov D. S. Embryo of flowering plants at the critical stage of embryogenesis relative autonomy (by example of cereals) // Russian Journal of Developmental Biology. 2020. Vol. 51. No. 1. P. 1–15. DOI: 10.1134/S1062360420010026.

9. Kuluev B. R., Kruglova N. N., Zaripova A. A., Farkhutdinov R. G. Bases of plant biotechnology. Ufa: Publishing house of Bashkir State University, 2017. 244 p.

10. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E., Nikonov V. I. Identifying of drought tolerant wheat genotypes in culture of immature embryos *in vitro* // Vestnik of the Bashkir State Agrarian University. 2019. Vol. 52. No. 4. P. 37–41. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-37-41.

11. Soils of Bashkortostan. Vol. 1. Ecological-genetic and agricultural characteristics. Ufa: Gilem, 1995. 385 p.

12. Weather report for 2020 [Electronic resource]. Access point: <https://www.meteoservice.ru/archive/ufa/2020> (reference's date 02.10.2021).

13. Weather report for 2021 [Electronic resource]. Access point: <https://www.meteoservice.ru/archive/ufa/2021> (reference's date 02.10.2021).

14. Hydrometeorological data [Electronic resource]. Access point: <http://www.meteorb.ru/about/gidrometeorologicheskaya-informatsiya> (reference's date 02.10.2021).

15. Batygina T. B. Cereals. Leningrad: Nauka, 1987. 99 p.

16. Pausheva Z. P. Workshop on plant cytology. Moscow: Kolos, 1980. 304 p.

17. Harnvanichvech Y., Gorelova V., Sprakel J., Weijers D. The *Arabidopsis* embryo as a quantifiable model for studying pattern formation // Quantitative Plant Biology. 2021. Vol. 2. P. 1–13. DOI: 10.1017/qpb.2021.3.

18. Maryenti T., Kato N., Ichikawa M., Okamoto T. Establishment of an *in vitro* fertilization system in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Plant Cell Physiology. 2019. Vol. 60. No. 4. P. 835–843. DOI: 10.1093/pcp/pcy250.

19. Tian R., Paul P., Joshi S., Perry S.E. Genetic activity during early plant embryogenesis // Biochemical Journal. 2020. Vol. 477. P. 3743–3767. DOI: 10.1042/BCJ20190161.

20. Chakraborty B., Willemsen V., de Zeeuw T., Liao C. Y., Weijers D., Mulder B., Scheres B. A plausible microtubule-based mechanism for cell division orientation in plant embryogenesis // Current Biology. 2018. Vol. 28. P. 3031–3048. DOI: 10.1016/j.cub.2018.07.025.

21. Batygina T. B. Plant developmental biology. Saint-Petersburg: DEAN, 2014. 764 p.

22. Kruglova N. N., Seldimirova O. A., Zinatullina A. E. Structural features and hormonal regulation of the zygotic embryogenesis in cereals // *Biology Bulletin Reviews*. 2020. Vol. 10. No. 2. P. 115–126. DOI: 10.1134/S2079086420020048.
23. Bases of embryogenesis in cereals // Ed. by Yakovlev M. S. Kiev: Naukova dumka, 1991. 176 p.
24. Seldimirova O. A., Kruglova N. N., Titova G. E., Batygina T. B. Comparative ultrastructural analysis of the *in vitro* microspore embryoids and *in vivo* zygotic embryos of wheat as a basis for understanding of cytophysiological aspects of their development // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2017. Vol. 48. No. 3. P. 185–197. DOI: 10.1134/S1062360417030109.
25. Farooq M., Bramley H., Palta J. A., Siddique K. H. M. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2011. Vol. 30. No. 6. P. 491–507. DOI: 10.1080/07352689.2011.615687.
26. Agro-climatic resources of the Bashkir ASSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 234 p.
27. Khan A., Ahmad M., Ahmed M., Hussain I. M. Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 43. DOI: 10.3390/plants10010043.
28. Kumar M., Patel M. K., Kumar N., Bajpei A. B., Siddique K. H. M. Metabolomics and molecular approaches reveal drought stress tolerance in plants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. No. 17. DOI: 10.3390/ijms22179108.
29. Yegorova N. A. Biotechnology of essential oil plants: creation of new forms and micropropagation *in vitro*. Simferopol: Publishing House «Autograph», 2021. 315 p. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4.
30. Bednarek P. T., Orlowska R. Plant tissue environment as a switch-key of (epi)genetic changes // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2020. Vol. 140. P. 245–257. DOI: 10.1007/s11240-019-01724-1.
31. Jacquier N. M. A., Gilles L. M., Martinant J.-P., Rogowsky P. M., Widiez T. Maize *in planta* haploid inducer lines: a cornerstone for doubled haploid technology // *Methods in Molecular Biology*. 2021. Vol. 2288. P. 25–48. DOI: 10.1007/978-1-0716-1335-1\_2.
32. Radoeva T., Vaddepalli P., Zhang Z., Weijers D. Evolution, initiation, and diversity in early plant embryogenesis // *Developmental Cell*. 2019. Vol. 50. No. 5. P. 533–543. DOI: 10.1016/j.devcel.2019.07.011.
33. Pykalo S., Demidov O., Yurchenko T., Khomenko S., Gumenyuk O., Kharchenko M., Prokopik N. Methods for evaluation of wheat breeding material for drought tolerance // *Visnyk of Lviv University. Biological series*. 2020. Iss. 82. P. 63–79. DOI: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
34. Sattar S., Afzal R., Bashir I., Shahid A. Biochemical, molecular and morpho-physiological attributes of wheat to upgrade grain production and compete with water stress // *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*. 2019. Vol. 3. No. 3. P. 510–528. DOI: 10.29329/ijjaar.2019.206.16.

UDC 581:3: 576.3:576.535:577.175.152

Kruglova N. N., Seldimirova O. A.

### **EMBRYOGENESIS *IN VIVO* OF DROUGHT-RESISTANT REGENERANTS OF SPRING SOFT WHEAT OBTAINED BY EMBRYO CULTURE *IN VITRO***

**Summary.** *The modification of the biotechnological method of selective embryo culture in vitro of autonomous embryos developed by the authors with the introduction of 8% mannitol into the nutrient medium for modeling drought conditions makes it possible to obtain drought-resistant spring soft wheat regenerants. It is important to analyze the embryonic characteristics of drought-resistant regenerants in the field conditions in vivo. The aim of our work was to study the embryogenesis in vivo of drought-resistant regenerants of spring soft wheat hybrid L42938 × ‘Salavat Yulaev’, picked in selective embryo culture in vitro (experiment) during the growing seasons of 2020 (moderately humid year) and 2021 (dry year). Obtained data were compared with similar indicators of the non-drought-resistant hybrid of spring soft wheat ‘Boevchanka’ x ‘Iren’ (control). The study was conducted in the Ufa district, Republic of Bashkortostan. Methods of artificial pollination, phenological observations and light-optical analysis were used. During the years of research, embryos of both hybrids developed according to Graminad-type of embryogenesis and passed successively the stages of zygote (0.5 days after pollination),*

*two-cellular (1.5 days after pollination), four-cellular (2.5 days after pollination), multicellular (4.0 days after pollination) embryo, as well as the stage of organogenesis (5.5–23.0 days after pollination). Mature embryos were formed by the 25<sup>th</sup> day after pollination; their structure was typical for cereals. In moderately humid 2020, embryos, both in the experiment and control, developed without deviations from the norm. Influence of elevated air temperature in dry 2021 did not affect the process of embryogenesis and the structure of developing embryos of drought-resistant regenerants (experiment). However, it led to a halt in development, structural anomalies and degeneration of 24.1 % of embryos at different stages of embryogenesis of the non-drought-resistant hybrid (control). All the mentioned above enable us to draw conclusions on the practicality of using drought-resistant regenerants obtained in selective embryo culture in vitro in breeding programs aimed at the accelerating creation of zoned spring soft wheat varieties resistant to moisture deficiency.*

**Keywords:** *Triticum aestivum L., embryogenesis in vivo, selective embryo culture in vitro, drought resistance.*

Круглова Наталья Николаевна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физиологии растений Уфимского института биологии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: kruglova@anrb.ru.

Сельдимирова Оксана Александровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии растений Уфимского института биологии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 450054, Россия, г. Уфа, проспект Октября, 69; e-mail: o\_seldimirova@mail.ru.

Kruglova Natalia Nikolaevna, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher at the Laboratory of plant physiology of the Ufa Institute of biology – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: kruglova@anrb.ru.

Seldimirova Oksana Aleksandrovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher at the Laboratory of plant physiology of the Ufa Institute of biology – subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69, Oktyabrya av., Ufa, 450054, Russia; e-mail: o\_seldimirova@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 01.03.2022.*

*Дата принятия к печати – 04.04.2022.*



УДК 574.422+636.39+636.086.2/3

EDN IMYQER

Мамонтова Т. В., Айбазов А.-М. М., Селионова М. И.

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАБОЛИТОВ КРОВИ  
КАРАЧАЕВСКИХ КОЗ, РАЗВОДИМЫХ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГО-  
ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНАХ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ**  
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева»

**Реферат.** Аборигенные карачаевские козы – одна из древнейших популяций коз Северного Кавказа, выведенная с помощью народной селекции, сочетающая уникальный набор разнообразных характеристик, позволяющих иметь достаточно широкий и разнообразный по эколого-географическим показателям ареал распространения. Наиболее точным инструментом, который помогает специалистам следить за полноценностью кормления и содержания животных, их здоровьем, как на индивидуальном уровне, так и на уровне стада являются биохимические параметры крови. Цель исследований – определить некоторые биохимические показатели крови, характеризующие обмен веществ в организме животных под влиянием кормовых и других условий разных эколого-географических районов содержания карачаевских коз. Исследования проводили с марта по ноябрь 2020 г. на трех группах типичных карачаевских коз ( $n=75$ ) в возрасте 2,5–5,0 лет со средней живой массой  $44,56 \pm 2,42$  кг, разводимых в разных районах Карачаево-Черкессии (равнинный – 500–600 м над уровнем моря, предгорный – 900–1000 м н.у.м., высокогорный – 1600–2000 м н.у.м.). Установлено, что биохимический состав крови карачаевских коз с предгорных и высокогорных пастбищ был наиболее приближен к физиологическим нормам, принятым для данного вида животных. Так концентрация общего белка у коз, выпасавшихся на альпийских пастбищах, была примерно одинаково высокой во все сезоны от 80,69 до 84,61 г/л, против одинаково низкого показателя у коз, содержащихся на равнинных пастбищах (от 74,63 до 78,71 г/л). При этом достоверно высокое содержание общего белка во всех группах сопровождалось достоверно высоким повышением глобулиновых фракций при одновременном уменьшении концентрации альбуминов. Также выявлено, что на 99,9 % ареал обитания и соответственно разный видовой и качественный состав пастбищ, используемых карачаевскими козами, оказывает влияние на различные метаболиты крови этих животных.

**Ключевые слова:** карачаевские козы, эколого-географический район, общий белок, глюкоза, холестерин, видовой состав пастбищ.

**Для цитирования:** Мамонтова Т. В., Айбазов А.-М.М., Селионова М. И. Сезонные изменения некоторых метаболитов крови карачаевских коз, разводимых в разных эколого-географических районах Карачаево-Черкесской Республики // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 79–89. EDN: IMYQER.

**For citation:** Mamontova T. V., Aybazov A.-M. M., Selionova M. I. Seasonal changes in some blood metabolites of Karachay goats bred in different ecological and geographical areas of the Karachay-Cherkess Republic // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 79–89. EDN: IMYQER.

### Введение

Козы (*Capra hircus*) являются одними из самых первых одомашненных животных. Процессу одомашнивания этого вида, начавшемуся, по некоторым оценкам, примерно 10 000 лет назад, способствовали такие качества коз, как неприхотливость в содержании и питании, способность адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды и небольшие размеры. Дальнейший

длительный естественный отбор и селекция на повышение продуктивности, приспособленность к конкретным природно-климатическим условиям позволили создать огромное разнообразие пород и типов практически во всех эколого-географических районах мира. По данным Продовольственной организации ООН, в настоящее время в мире зарегистрировано более 576 пород коз [1].

Козы по-прежнему являются одним из ценных видов домашнего скота во всем мире, имеют большое экономическое значение и участвуют в развитии устойчивого сельского хозяйства, особенно в развивающихся странах. Хотя в разных культурах они выполняют различные функции. С одной стороны, они являются надежным источником мяса, молока, пуха, с другой – во многих культурах коз считают почти священными [2].

За последние 30 лет мировая популяция коз увеличилась более чем в два раза и в настоящее время составляет 1 200 000 голов. Лидерами являются Азия и Африка с долями 58,2 % и 36,2 % соответственно [3].

Динамика развития козоводства в России имеет свою собственную тенденцию (таблица 1). Если рассматривать существующее поголовье коз в нашей стране по направлению продуктивности, то становится очевидным, что преобладают козы молочного направления – 36 % и пухового – 33 %, шерстного направления – 20 % и лишь 11 % составляют козы местных грубошерстно-мясных пород [4, 5]. При этом основное поголовье коз сосредоточено в личных подсобных и крестьянско-фермерских хозяйствах – 78,1 % и 14,8 % соответственно [5].

**Таблица 1 – Численность коз в Карачаево-Черкесской республике по отношению к СКФО, РФ и Мировой популяции с 1990 по 2019 гг. (FAOSTAT, 2021; ЕМИСС, 2021)**

Область	Количество коз, млн гол.						
	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.
Мировая популяция	589	673	751	839	910	1000	1200
РФ	2,95	2,68	2,23	2,16	2,05	2,16	1,9
	Количество коз, тыс. гол.						
СКФО	-	-	-	-	238,8	270,03	216,8
КЧР	29,9	27,5	18,6	11,3	14,1	3,65	5,7

Северо-Кавказский федеральный округ занимает пятое место среди всех субъектов Российской Федерации по количеству коз на конец 2019 г. При этом структура поголовья представлена лишь 15 % племенных животных, а оставшиеся 85 % составляют местные аборигенные козы, как правило, смешанного направления продуктивности.

Среди многочисленных аборигенных пород коз Северного Кавказа, на наш взгляд, одной из наиболее интересных для изучения является порода аборигенных карачаевских коз. Этот вид животных культивировался столетиями с помощью народной селекции и сегодня сочетает в себе уникальный набор разнообразных характеристик, позволяющих иметь достаточно широкий и разнообразный по эколого-географическим показателям ареал распространения. Основное поголовье аборигенных карачаевских коз сосредоточено в личных хозяйствах населения Карачаево-Черкесской республики. За последние пять лет поголовье всех коз республики увеличилось в 1,5 раза. Если считать верной теорию Dubeuf and Bouyazoglu's можно предположить, что увеличение численности коз на фоне общего снижения поголовья в стране связано, скорее всего, не с развитием этого вида, а с растущей потребностью в натуральном хозяйстве населения республики [6].

Карачаево-Черкесская республика (КЧР) является горным районом Большого Кавказа, что определяет характерный рельеф территории и разнообразие ландшафтов, а, соответственно, и разнообразный видовой состав пастбищ, используемых сельскохозяйственными животными, в том числе и карачаевскими козами. Площади естественных выпасов республики составляют 335 тыс. га и являются основным источником кормов в весенне-летний и осенний период [7].

Преимущества пастбищного выпаса состоят в том, что козы используют корма на корню без предварительной их заготовки и хранения, что позволяет получать дешевое, полноценное по питательности молоко и мясо. В пастбищный период в организме животного откладывается много высокоценного белка, а в последний его период – межмышечного, внутреннего и подкожного жира. Поэтому мясо молодняка отличается мраморностью, сочностью, отличными вкусовыми качествами и специфическим приятным ароматом.

Зеленые корма отличаются ценными кормовыми достоинствами, несмотря на высокое содержание в них воды (70–80 %). Благодаря сочности и нежности молодых растений, зеленый корм охотно поедается всеми животными. На хороших пастбищах коза в течение дня съедает до 10 кг зеленой массы. Являясь основным источником летнего кормления, зеленый пастбищный корм оказывает благотворное диетическое влияние на организм, он прекрасный возбудитель пищеварительных желез, хорошо переваривается животными, так как питательные вещества в нем находятся в легкопереваримой и хорошо усвояемой форме. Также зеленый корм, по сравнению с другими кормами, наиболее полно удовлетворяет травоядных животных в их потребности во всех элементах питания.

Важное биологическое значение зеленых пастбищных кормов объясняется их питательностью, полноценностью протеина по аминокислотному составу и богатым содержанием минеральных веществ и витаминов, особенно каротина. Сухое вещество молодой травы по содержанию переваримого протеина, по энергетической и общей питательности приближается к зерновым концентратам, причем протеин травы по биологической ценности превосходит протеин таких кормов. К тому же пастбищная трава по стоимости кормовой единицы значительно дешевле других кормовых средств, т.е. пастбищная трава является самым дешевым кормом [8].

Пространственная структура ландшафтов КЧР отличается большой сложностью. По данным Дышекова М.М. класс равнинных и предгорно-холмистых ландшафтов включает три типа, три подтипа, пять родов и семь видов ландшафтов. Класс горных ландшафтов включает шесть типов, 11 подтипов, 19 родов и 38 видов ландшафтов [9, 10].

Равнинные и предгорно-холмистые ландшафты республики расположены в северной ее части на высоте от 280 до 500–600 метров. Климат характеризуется достаточно высокой температурой летом (самый жаркий месяц – июль – 20–25 °С) и относительной теплой зимой (самый холодный месяц – январь – минус 4 °С). Период со снежным покровом составляет 70–75 дней. В первой декаде марта происходит устойчивый переход среднесуточных температур через 0 °С в сторону повышения. С середины апреля и до конца октября наступает безморозный период. Основная часть годовых осадков (500–570 мм) выпадает в весенне-летний период [9, 10].

В этих климатических условиях преобладают пашни, как высокорентабельные производства под зерновые культуры. Нераспаханные участки остепененных лугов состоят из следующих основных групп ассоциаций: кострово-разнотравная (с *Bromopsis riparia*), коротконожково-разнотравная (с *Brachypodium pinnatum*), типчаково-осочково-разнотравная (с *Festuca valesiaca* и *Carex humilis*), золотобородниково-разнотравная (с *Chrysopogon gryllus*) и сеслериево-разнотравная (с *Sesleria phleoides*). По мере улучшения увлажнения остепененные луга сменяются

кустарниковыми сообществами и лугостепями с преобладанием многочисленного разнотравья и обилием видов семейства бобовых [11]. Как луга, так и степи используют и под сенокос (с урожайностью от 5–9 ц/га до 18–20 ц/га), и под выпас. Выпасаемые участки обычно сильно выбиты и засорены дудником (*Angelica*), борщевиком (*Heraclium*), молочаем (*Euphorbia*), колючим васильком (*Centaurea cyanus*), румянкой лекарственной (*Anchusa officinalis*) и др.; их урожайность значительно снижена, поедаемая масса едва достигает 2–4 ц/га [12].

Горные ландшафты КЧР достаточно разнообразны и при этом на горных пастбищах производится большая часть всей животноводческой продукции. В республике преобладают горные умеренные семигумидные ландшафты, расположенные в среднегорной полосе на высоте 800–2200 метров над уровнем моря. Среднегодовая температура здесь составляет 7–9 °С, количество осадков – 450–550 мм в год. В летнее время отмечается дефицит влаги.

Луговой фонд, наиболее богатый кормовыми травами, расположен преимущественно в субальпийском поясе. Он характеризуется преобладанием злаково-разнотравных лугов с мощно развитым травостоем и многообразием видов. На большинстве лугов доминирует овсяница воронова (*Festuca woronowii*), поедаемая козами, овцами, лошадьми и крупным рогатым скотом. Другим распространенным злаком является морозоустойчивая овсяница луговая (*Festuca pratensis*) [13]. Лидером по образованию зелёной массы является мятлик луговой (*Poa pratensis*). Род *Trifolium* представлен восемью видами, среди них наиболее ценнейшее кормовое растение – клевер красный (*Trifolium pratense*). Род *Vicia* представлен в данной флоре пятью видами, имеющими широкое распространение и являющимися важной составляющей пищевого рациона скота. В травостое 55 % составляет разнотравье, 40 % – злаки, 5 % – бобовые. Эти луга в основном используются как сенокосы и дают высокий урожай сена (до 35–45 ц/га), корм с таких лугов часто заготавливают для силоса и сенажа.

Альпийский пояс характеризуется низкорослой растительностью с кустарниками, бедным видовым составом с преобладанием двудольных растений, являющихся главными задернителями.

Таким образом, разнообразные природные пастбища Карачаево-Черкесской республики являются основным источником корма для местных карачаевских коз.

Видовой состав пастбищ определяется разными составляющими, в том числе и сезонными изменениями (зимний, переходный, летний сезон года) и тем самым оказывает влияние на продуктивные показатели пастбищных животных.

Известно, что рост и развитие животного обеспечиваются многими факторами, основным из которых является уровень и полноценность кормления. Преобразование естественного корма (пастбищной травы) в организме животных в необходимую для человека продукцию происходит через сложную систему перехода питательных веществ корма в метаболиты обмена веществ, которые, в свою очередь, посредством гуморальных факторов трансформируются в продукты, обеспечивающие рост и развитие животного. Очевидно, что состав пастбищной травы может влиять на особенности обмена веществ. Следовательно, наиболее точным методом мониторинга состояния здоровья и обмена веществ является определение концентрации некоторых метаболитов крови.

**Цель исследований** – определить некоторые биохимические показатели крови, характеризующие обмен веществ в организме животных под влиянием кормовых и других условий разных эколого-географических районов содержания карачаевских коз.

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

Исследования проводили с марта по ноябрь 2020 г. на трех группах типичных карачаевских коз, разводимых в разных районах КЧР (таблица 2).

**Таблица 2 – Характеристика эколого-географических районов содержания карачаевских коз, участвующих в эксперименте**

Наименование хозяйства, место расположения	Количество исследуемых животных	Высота над уровнем моря, м	Климатические данные за экспериментальный год по сезонам, средняя температура воздуха / количество осадков		
			весна	лето	осень
ИП Калмыков, Прикубанский район, КЧР	23	500–600	12,3 °C/319 мм	23,3 °C/363 мм	13,7 °C/130 мм
К(Ф)Х «Дарик», Зеленчукский район, КЧР	13	900–1000	10,6 °C/226 мм	21,0 °C/321 мм	13,0 °C/117 мм
ООО «Гумач» Карачаевский район, КЧР	39	1600–2000	3,0 °C/497 мм	13,0 °C/619 мм	5,3 °C/240 мм

Согласно литературным данным и визуальному осмотру пастбищ, видовой состав лугов Прикубанского района следующий: житняк гребевидный (*Agropyron pectinatum*), полевица белая (*Agrostis alba*), кострец береговой (*Bromopsis riparia*), райграс высокий (*Arrhenatherum elatius*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), ковыль (*Stipa lessinguana*) и другие представители злаково-бобовых трав естественных лугов и пастбищ.

Пастбища Зеленчукского района представлены люцерной серповидной (*Medicago falcata*), клевером (*Trifolium*), эспарцетом посевным (*Onobrychis viciifolia Scop*), ежой сборной (*Dactylis glomerata*) и др.

Яркими представителями лугопастбищной флоры Карачаевского района являются тимофеевка луговая (*Phleum pratense*), овсяница воронова (*Festuca woronowii*) и другие злаково-бобовые растения [14–17].

В эксперименте использовали взрослых коз ( $n = 75$ ) в возрасте 2,5–5,0 лет со средней живой массой  $44,56 \pm 2,42$  кг.

Для оценки метаболитов крови, которые служат индикаторами обмена веществ в организме животного, отбирали образцы крови в разные сезоны года из яремной вены в вакуумные пробирки Vacutainer в каждый исследуемый сезон. Кровь собирали утром перед выгоном коз на пастбища. В течение трех часов после сбора образцы осаждали при комнатной температуре, а затем центрифугировали (3000 об./мин в течение 15 мин). Для измерения необходимых показателей использовали автоматический биохимический анализатор ChemWell (Awareness Technology, США) с реактивами фирм Analyticon Biotechnologies AG (Германия), Spinreact (Испания) и Диакон (Россия).

Статистическую обработку проводили с использованием программы Microsoft Excel 2016 (Microsoft, США). Результаты выражали как среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение ( $X \pm Sx$ ). Для определения статистической значимости различий средних величин использовали t-критерий Стьюдента при трех условиях вероятности «р» и разных числах степеней свободы [18].

### Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов позволил выявить, что большинство биохимических показателей находились в пределах физиологических норм во все исследуемые сезоны (таблица 3).

Концентрация общего белка варьировала в зависимости от сезона и района содержания животных и во всех группах была выше физиологической нормы. Максимально высокий показатель белка (85,61 и 83,64 г/л) наблюдали у животных из Зеленчукского района (субальпийский пояс) в весенне-летний сезон года.

Таблица 3 – Сезонные изменения биохимических показателей крови карачаевских коз, разводимых в разных регионах КЧР (n = 75)

Показатель	Прикубанский район (n = 23)		
	весна	лето	осень
Белок общий, г/л	78,71 ± 0,22***	74,63 ± 0,19	75,28 ± 0,17**
Альбумины, г/л	32,42 ± 0,09***	31,87 ± 0,08*	31,62 ± 0,07
Глобулины, г/л	46,28 ± 0,13***	42,76 ± 0,11	43,59 ± 0,10***
Мочевина, мМ/л	11,41 ± 0,12***	10,82 ± 0,08***	10,92 ± 0,11***
Креатинин, мкМ/л	74,13 ± 0,08***	71,25 ± 0,18***	70,42 ± 0,09
Глюкоза, мМ/л	2,35 ± 0,24	1,37 ± 0,11	2,01 ± 0,36
Холестерин, мМ/л	2,41 ± 0,01***	2,86 ± 0,01***	2,57 ± 0,02***
Зеленчукский район (n = 13)			
	весна	лето	осень
Белок общий, г/л	85,61 ± 0,17***	83,64 ± 0,12***	80,23 ± 0,19
Альбумины, г/л	35,02 ± 0,07***	34,04 ± 0,08***	32,65 ± 0,08
Глобулины, г/л	50,59 ± 0,11***	49,59 ± 0,09***	47,57 ± 0,12
Мочевина, мМ/л	11,35 ± 0,08***	11,63 ± 0,07***	11,21 ± 0,09***
Креатинин, мкМ/л	72,29 ± 0,12***	73,15 ± 0,15	73,68 ± 0,12
Глюкоза, мМ/л	2,14 ± 0,19	1,89 ± 0,17	1,29 ± 0,23
Холестерин, мМ/л	1,99 ± 0,02***	2,08 ± 0,01***	1,75 ± 0,02***
Карачаевский район (n = 39)			
	весна	лето	осень
Белок общий, г/л	81,25 ± 0,19***	84,61 ± 0,20***	80,69 ± 0,21***
Альбумины, г/л	31,53 ± 0,08	31,89 ± 0,06	33,08 ± 0,07***
Глобулины, г/л	49,72 ± 0,13	52,71 ± 0,12***	47,61 ± 0,11
Мочевина, мМ/л	12,13 ± 0,09***	12,42 ± 0,08***	12,27 ± 0,11***
Креатинин, мкМ/л	63,24 ± 0,11***	65,21 ± 0,13***	66,15 ± 0,12***
Глюкоза, мМ/л	1,26 ± 0,15	1,81 ± 0,12	1,59 ± 0,17
Холестерин, мМ/л	1,49 ± 0,01***	1,56 ± 0,01***	1,67 ± 0,02***

*Примечание.* Данные достоверны при: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Разница весной по сравнению с осенью составила 5,38 г/л (6,71 %), летом по сравнению с осенью – 3,41 г/л (4,25 %) при  $p \leq 0,001$ . У коз, выпасавшихся на альпийских пастбищах (Карачаевский район), концентрация общего белка была почти одинаково высокой во все сезоны – от 80,69 до 84,61 г/л, против одинаково низкого показателя у коз, содержащихся на равнинных пастбищах (от 74,63 до 78,71 г/л). Высоко достоверная разница ( $p \leq 0,001$ ) у этих показателей была весной 2,54 г/л (3,23 %), летом – 9,98 г/л (13,37 %), осенью – 5,41 г/л (7,19 %). При этом достоверно высокое содержание общего белка во всех группах сопровождалось достоверно высоким повышением глобулиновых фракций при одновременном уменьшении концентрации альбуминов. Концентрация общего белка у исследуемых коз в среднем составила 80,51 г/л. Эти значения считаются выше нормального диапазона значений, от 60 до 70 г/л [18–20]. По некоторым литературным данным известно, что высокий уровень сывороточного белка может свидетельствовать о высоком потреблении злаков [21], обезвоживании или высокой температуре в результате почечной недостаточности. Возможно, высокие показатели белковой фракции карачаевских коз, выпасаемых на субальпийских и альпийских пастбищах (вторая и третья группа), по сравнению с животными с равнинных пастбищ (первая группа) обусловлены видовым составом пастбищ, так как более 40 % используемого травостоя занимают злаки. Сезонные колебания показателей во всех группах могут быть также обусловлены сменой травостоя в зависимости от сезона и условий окружающей среды, а также непосредственным влиянием температурных условий на организм животных.

Также отмечен более высокий уровень мочевины во всех исследуемых группах в сравнении с нормой. Известно, что концентрация мочевины в крови является косвенным показателем белкового состава корма и полезным показателем потребления азота у выпасаемых животных [22]. Данные по концентрации мочевины

дополняют информацию, полученную при анализе общего белка. У исследуемых карачаевских коз наиболее высокие показатели мочевины наблюдали в разные сезоны года: у первой группы (равнинная зона) весной – 11,41 мМ/л, второй группы (предгорная зона) весной и летом – 11,35 и 11,63 мМ/л соответственно, третьей группы (высокогорная зона) летом – 12,42 мМ/л. Полученная динамика согласуется с исследованиями, проведенными в районах с отчетливым влажным и сухим сезонами [23], в которых установлено, что с наступлением сухого сезона происходит снижение содержания белка и переваримости пастбищ, что связано со стадией физиологической зрелости растений. Уровень белка обычно высокий на ранних стадиях роста растений и достигает своих максимальных значений в конце вегетативной стадии и по мере созревания растений снижается. Известно, что выработка гормона стресса – кортизола стимулирует расщепление мышечных белков с высвобождением аминокислот [20]. Возможно, высокое содержание мочевины, от 10,82 до 12,42 мМ/л, в наших исследованиях обусловлено высокой двигательной активностью карачаевских коз и их выпасом в суровых условиях, которые вызваны частыми и резкими перепадами погоды, достаточным количеством хищников и сложным рельефом местности. Это подтверждают максимально высокие показатели у животных, содержащихся на альпийских пастбищах (третья группа) – 12,13–12,42 мМ/л. Достоверно высокую ( $p \leq 0,001$ ) разницу в показателях в сравнении со второй группой наблюдали: весной 0,78 мМ/л или 6,87 %, летом – 0,79 мМ/л или 6,79 %, осенью – 1,35 мМ/л или 12,36 %. Разница с первой группой соответственно составила 0,72 мМ/л (6,31 %), 1,6 мМ/л (14,79 %), 1,35 мМ/л (12,36 %).

Полученные показатели креатинина у карачаевских коз находятся в пределах нормы и согласуются с данными Soul W. et al. полученными на местных африканских козах [22]. Повышение креатинина на 17,22 % в весенний период, 9,26 % в летний период и 6,45 % в осенний период у карачаевских коз из равнинной зоны (первая группа) в сравнении с козами с альпийских пастбищ (третья группа) можно связать с более высокой живой массой животных, выпасаемых на пастбищах предгорного района ( $p \leq 0,001$ ). Это предположение соответствует некоторым исследованиям, в которых доказано, что концентрация креатинина пропорциональна мышечной ткани [24].

Концентрация глюкозы в крови является одним из важных показателей энергетического обмена организма, регулируемого одновременно различными факторами, в том числе и уровнем кормления. Недостаточное потребление питательных веществ может снизить концентрацию глюкозы в крови [25]. В целом, многие исследователи считают концентрацию глюкозы в крови слабым диагностическим показателем, так как он во многом зависит от пищевого статуса животного и может значительно варьировать. В нашем исследовании концентрация глюкозы достигла пика у животных, выпасавшихся на равнинных весенних пастбищах – 2,35 мМ/л, при этом сильные колебания наблюдали в разных группах и в зависимости от месяца. Полученные показатели глюкозы были ниже средних данных для коз. В данный момент мы не можем дать объективных объяснений полученным большим стандартным отклонениям этого показателя ( $m$ ), однако они свидетельствуют в пользу того, что глюкоза действительно является слабым диагностическим показателем.

Изменения концентрации холестерина были высоко достоверными ( $p \leq 0,001$ ) как внутри каждой группы, так и между группами. Минимальная концентрация холестерина обнаружена у животных, выпасаемых на альпийских и субальпийских пастбищах. В среднем, во все сезоны, концентрация холестерина у животных с равнинных пастбищ превышала таковую у животных с субальпийских пастбищ на 0,67 мМ/л, с альпийских – на 1,04 мМ/л, что составило 34,54 % и 66,24 % соответственно. Можно предположить, что снижение концентрации холестерина у животных, выпасаемых на высокогорных пастбищах (вторая и третья группа),

возможно, вызвано употреблением ими в корм ягод и лекарственных трав, которыми богаты альпийские и субальпийские луга. Известно, что карачаевские козы могут поедать лекарственные травы, ягоды барбариса, боярышника, кору кустарников и деревьев, а они в свою очередь богаты фитохимическими веществами (каротиноидами, сапонинами, изофлавидами). Например, сочетание танинов и антоцианов (как в барбарисе) может понизить окисленный холестерин в крови [26]. Способность фитохимических веществ снижать синтез и всасывание холестерина также подтвердили Saxena M. et al. [27].

### Выводы

В ходе исследований установлено, что на 99,9 % ареал обитания и соответственно разный видовой и качественный состав пастбищ, используемых карачаевскими козами, оказывает влияние на различные метаболиты крови этих животных.

Так, концентрация общего белка у коз, выпасавшихся на альпийских пастбищах, была примерно одинаково высокой во все сезоны – от 80,69 до 84,61 г/л, против одинаково низкого показателя у коз, содержащихся на равнинных пастбищах (от 74,63 до 78,71 г/л). При этом достоверно высокое содержание общего белка во всех группах сопровождалось достоверно высоким повышением глобулиновых фракций при одновременном уменьшении концентрации альбуминов.

Наиболее существенная разница между группами наблюдалась по концентрации холестерина и составила 34,54 % между первой и второй группой и 66,24 % между первой и третьей группой.

Выявлено, что биохимический состав крови карачаевских коз с субальпийских и альпийских пастбищ наиболее приближен к физиологическим нормам, принятым для данного вида животных.

*Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-76-20006).*

### Литература

1. Bélanger J., Pilling D. The state of the world's biodiversity for food and agriculture / FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 2019. 572 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf> (дата обращения: 05.04.2021).
2. Mhlanga T. T., Mutibvu T., Mbiriri D. T. Goat flock productivity under smallholder farmer management in Zimbabwe // Small Rumin. Res. 2018. No. 164. P. 105–109. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.05.010.
3. Статистика в области продовольствия и сельского хозяйства // FAOSTAT. 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> (дата обращения: 31.03.2021).
4. Единая межведомственная информационно-статистическая система // ЕМИСС. 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31325> (дата обращения: 31.03.2021).
5. Бюллетень «Производство продукции животноводства и поголовье скота в хозяйствах всех категорий» за январь-декабрь 2020 года // Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 11.02.2021).
6. Dubeuf J.-P., Boyazoglu J. An international panorama of goat selection and breeds // Livest. Sci. 2009. No. 120. P. 225–231. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.07.005.
7. Аджиева М. М., Джанибекова Х. А., Семенов И. А. Эколого-географические аспекты культуртехнических работ в условиях горного ландшафта (на примере Карачаево-Черкесии) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. № 3. С. 119–124.
8. Поляков И. И., Антиох Г. Г. Основы животноводства. М.: Колос, 1980. 288 с.
9. Братков В. В., Гаджибеков М. И., Джандубаева Т. З., Дышеков М. М. Сравнительный анализ сезонной динамики ландшафтов Предкавказья // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2007. № 4. С. 85–88.
10. Дышеков М. М., Братков В. В. Экологические особенности лесных ландшафтов Карачаево-Черкесии // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2008. № 3 (4). С. 108–111.
11. Иванов А. Л. Флора Предкавказья и её генезис. Ставрополь: Изд-во СГУ, 1998. 204 с.



12. Дмитриев Н. П. Опыт изучения питательного достоинства горных пастбищ Карачаевской автономной области // Овцеводство. 1933. № 2. С. 29.
13. Брежнев Д. Д., Коровина О. Н. Дикие сородичи культурных растений СССР. Л.: Колос, 1981. 375 с.
14. Остроухов Н. А., Дмитриенко Н. И. Кормовые ресурсы предгорной и горной зон Северного Кавказа и их рациональное использование // Сельскохозяйственный журнал. 2007. Т. 2. № 2(2). С. 143–148.
15. Чотчаева Р. Р., Иванов Л. А. Биоморфологический анализ флоры бассейна реки Теберда. Биоразнообразие, биоресурсы, новые материалы и здоровье населения региона // Материалы 55 научной конференции «Университетская наука – региону». Ставрополь, 2008. С.63–64.
16. Мамонтова Т. В. Продуктивные, конституциональные и биологические особенности карачаевских коз в разных условиях содержания. Автореф. дисс. ... канд. С.-х. наук. Ставрополь: Ставропольский НИИ животноводства и кормопроизводства, 2012. – 23 с.
17. Wang D., Fang J., Xing F., Yang L. Alfalfa as a supplement of dried cornstalk diets: associative effects on intake, digestibility, nitrogen metabolism, rumen environment and hematological parameters in sheep // Livestock Science. 2008. No. 113. P. 87–97. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.02.018.
18. Кузнецова О. А. Мазурмович О. Н. Эконометрика: практикум. Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. 72 с.
19. Samira A.M., Mohammed A.R., Anaam E.O., Sheeba A., Waleed M.A.G. Biochemical and hematological profile of different breeds of goat maintained under intensive production system // African Journal of Biotechnology 2016. No. 15. P. 1253–1257. DOI: 10.5897/AJB2016.15362.
20. Malecky M., Ghadbeigi M., Aliarabi H., Bahari A. A., Zaboli K. Effect of replacing alfalfa with processed potato vines on growth performance, ruminal and total tract digestibility and blood metabolites in fattening lambs // Small Ruminant Research. 2017. Vol. 146. P. 13–22. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2016.11.005.
21. Sandabe U. K., Chaudhary S. U. R. Effect of environmental temperature on some biochemical values in female Sahel goats // Pakistan Veterinary Journal. 2000. No. 20. P. 10–12.
22. Soul W., Mupangwa J., Muchenje V., Mpendulo T. Biochemical indices and hematological parameters of goats fed *lablab purpureus* and *vigna unguiculata* as supplements to a *chloris gayana* basal diet // Veterinary and Animal Science. 2019. Vol. 8. P. 100073. DOI: 10.1016/j.vas.2019.100073.
23. Hassen A., Rethman N. F. G., van Niekerk W. A., Tjelele T. J. Influence of season / year and species on chemical composition and *in vitro* digestibility of five *Indigofera* accessions // Anim. Feed Sci. Technol. 2007. No. 136 (3–4). P. 312–322. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.09.010.
24. Carlos M. M. L., Leite J. H. G. M., Chaves D. F., Vale A. M., Façanha D. A. E., Melo M. M., Soto-Blanco B. Blood parameters in the Morada Nova sheep: influence of age, sex and body condition score // Journal of Animal and Plant Science. 2015. No. 25. P. 950–955.
25. Reynolds C. K., Aikman P. C., Lupoli B., Humphries D. J., Beever D. E. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation // Journal of Dairy Science. 2003. No. 86. P. 1201–1217. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73704-7.
26. Тюрюмин Я. Л., Шантуров В. А., Тюрюмина Е. Э. Физиология обмена холестерина (обзор) // Acta Biomedica Scientifica. 2012. No. 2(1). P. 153–158.
27. Saxena M., Saxena J., Nema R., Singh D., Gupta A. Phytochemistry of medicinal plants // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2013. Vol. 1. No. 6. P. 168–182.

## References

1. Bélanger J., Pilling D. The state of the world's biodiversity for food and agriculture / FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 2019. 572 p. [Electronic resource]. Access point: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf> (reference's date: 05.04.2021).
2. Mhlanga T. T., Mutibvu T., Mbiriri D. T. Goat flock productivity under smallholder farmer management in Zimbabwe // Small Rumin. Res. 2018. No. 164. P. 105–109. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.05.010.
3. Statistics in the field of food and agriculture / FAOSTAT. 2021. [Electronic resource]. Access point: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> (reference's date 31.03.2021).
4. Unified Interdepartmental Information and Statistical System / EMISS. 2021. [Electronic resource]. Access point: <https://www.fedstat.ru/indicator/31325> (reference's date 31.03.2021).
5. Bulletin “Production of livestock products and livestock in farms of all categories” for January-December 2020 // Federal State Statistics Service. [Electronic resource]. Access point: <http://rosstat.gov.ru> (reference's date 11.02.2021).
6. Dubeuf J.-P., Boyazoglu J. An international panorama of goat selection and breeds // Livest. Sci. 2009. No. 120. P. 225–231. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.07.005.
7. Adzhieva M. M., Dzhanibekova Kh. A., Semenov I. A. Ecological and geographical aspects of land clearing in mountainous terrain (the example of Karachay-Cherkessia) // Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2016. Vol. 10. No. 3. P. 119–124.
8. Polyakov I. I., Antiokh G. G. Fundamentals of animal husbandry. Moscow: Kolos, 1980. 288 p.

9. Bratkov V. V., Gadzhibekov M. I., Dzhandubayeva T. Z., Dyshekov M. M. Comparative analysis of seasonal dynamics of the landscapes of the Caucasus // Bulletin of the North Caucasus State Technical University. 2007. No. 4. P. 85–88.
10. Dyshekov M. M., Bratkov V. V. Ecological features of forest landscapes of Karachay-Cherkessia // Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2008. No. 3 (4). P. 108–111.
11. Ivanov A. L. Flora of the Pre-Caucasus and its genesis. Stavropol: Publishing House of Stavropol State University, 1998. 204 p.
12. Dmitriev N. P. The experience of studying the nutritional value of mountain pastures of the Karachay Autonomous Region // Ovtsevodstvo. 1933. No. 2. P. 29.
13. Brezhnev D. D., Korovina O. N. Wild relatives of cultivated plants of the USSR. Leningrad: Kolos, 1981. 375 p.
14. Ostroukhov N. A., Dmitrienko N. I. Fodder resources of the foothill and mountain zones of the North Caucasus and their rational use // Agricultural Journal. 2007. Vol. 2. No. 2(2). P. 143–148.
15. Chotchaeva R. R., Ivanov L. A. Biomorphological analysis of the flora of the Teberda river basin. Biodiversity, bioresources, new materials and the health of the population of the region // Proceedings of the 55<sup>th</sup> scientific conference “University Science for the region”. Stavropol, 2008. P. 63–64.
16. Mamontova T. V. Productive, constitutional and biological features of Karachay goats in different conditions of detention. Authors’ abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Stavropol: Stavropol Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production, 2012. 23 p.
17. Wang D., Fang J., Xing F., Yang L. Alfalfa as a supplement of dried cornstalk diets: associative effects on intake, digestibility, nitrogen metabolism, rumen environment and hematological parameters in sheep // Livestock Science. 2008. No. 113. P. 87–97. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.02.018.
18. Kuznetsova O. A., Mazurmovich O. N. Econometrics: practicum. Samara: Publishing House of Samara University, 2019. 72 p.
19. Samira A.M., Mohammed A.R., Anaam E.O., Sheeba A., Waleed M.A.G. Biochemical and hematological profile of different breeds of goat maintained under intensive production system // African Journal of Biotechnology 2016. No. 15. P. 1253–1257. DOI: 10.5897/AJB2016.15362.
20. Malecky M., Ghadbeigi M., Aliarabi H., Bahari A. A., Zaboli K. Effect of replacing alfalfa with processed potato vines on growth performance, ruminal and total tract digestibility and blood metabolites in fattening lambs // Small Ruminant Research. 2017. Vol. 146. P. 13–22. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2016.11.005.
21. Sandabe U. K., Chaudhary S. U. R. Effect of environmental temperature on some biochemical values in female Sahel goats // Pakistan Veterinary Journal. 2000. No. 20. P. 10–12.
22. Soul W., Mupangwa J., Muchenje V., Mpendulo T. Biochemical indices and hematological parameters of goats fed lablab purpureus and vigna unguiculata as supplements to a chloris gayana basal diet // Veterinary and Animal Science. 2019. Vol. 8. P. 100073. DOI: 10.1016/j.vas.2019.100073.
23. Hassen A., Rethman N. F. G., van Niekerk W. A., Tjelele T. J. Influence of season / year and species on chemical composition and in vitro digestibility of five Indigofera accessions // Anim. Feed Sci. Technol. 2007. No. 136 (3–4). P. 312–322. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.09.010.
24. Carlos M. M. L., Leite J. H. G. M., Chaves D. F., Vale A. M., Façanha D. A. E., Melo M. M., Soto-Blanco B. Blood parameters in the Morada Nova sheep: influence of age, sex and body condition score // Journal of Animal and Plant Science. 2015. No. 25. P. 950–955.
25. Reynolds C. K., Aikman P. C., Lupoli B., Humphries D. J., Beever D. E. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation // Journal of Dairy Science. 2003. No. 86. P. 1201–1217. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73704-7.
26. Tyuryumin Ya. L., Shanturov V. A., Tyuryumina E. E. Physiology of cholesterol metabolism (the review) // Acta Biomedica Scientifica. 2012. No. 2(1). P. 153–158.
27. Saxena M., Saxena J., Nema R., Singh D., Gupta A. Phytochemistry of medicinal plants // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2013. Vol. 1. No. 6. P. 168–182.

UDC 574.422+636.39+636.086.2/3

Mamontova T. V., Aybazov A.-M. M., Selionova M. I.

### SEASONAL CHANGES IN SOME BLOOD METABOLITES OF KARACHAY GOATS BRED IN DIFFERENT ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL AREAS OF THE KARACHAY-CHERKESS REPUBLIC

*Summary.* Aboriginal Karachay goats are one of the oldest goat populations of the North Caucasus bred with the help of folk breeding. This animal species, cultivated for centuries, today combines a unique set of diverse characteristics that allow it to have a wide and diverse range of distribution in terms of ecological and geographical indicators. The most accurate tool to help specialists monitor the usefulness of feeding and keeping animals, their

health both at the individual and herd level is the biochemical parameters of blood. In this regard, the aim of the study was to determine some biochemical parameters of blood that characterize the metabolism in the body of animals under the influence of feed and other conditions of different ecological and geographical areas where Karachay goats are kept. The studies were conducted from March to November 2020 on three groups of typical Karachay goats ( $n = 75$ ) aged 2.5–5 years with an average live weight of  $44.56 \pm 2.42$  kg, bred in different areas of the Karachay-Cherkess Republic (plain – 500-600 m above sea level, foothill – 900-1000 m above sea level, highland – 1600-2000 m above sea level). The biochemical composition of the blood of Karachay goats from foothill and high-altitude pastures was the closest to the physiological norms adopted for this type of animal. Thus, the total protein concentration in the blood of goats grazing on alpine pastures was approximately equally high in all seasons (from 80.69 to 84.61 g/l) compared to low indicator in goats kept in flat pastures (from 74.63 to 78.71 g/l). At the same time, significantly high content of total protein in all groups was accompanied by a significantly high increase in globulin fractions with a simultaneous decrease in the concentration of albumin. It was also revealed that the habitat and the species and qualitative composition of pastures used by Karachay goats affect various blood metabolites of these animals at the level of 99.9 %.

**Keywords:** Karachay goats, ecological and geographical area, total protein, glucose, cholesterol, species composition of pastures.

Мамонтова Татьяна Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева»; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mamontova.vniiook@gmail.com.

Айбазов Али-Магомет Муссаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории перспективных технологий ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: velikii-1@yandex.ru.

Селионова Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор РАН, заведующий кафедрой разведения, генетики и биотехнологии животных ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: m\_selin@mail.ru.

Mamontova Tatyana Vasilyevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Department of Breeding, Genetics and Biotechnology of Animals of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia; e-mail: mamontova.vniiook@gmail.com.

Aybazov Ali-Magomet Mussaevich, Dr. Sc. (Agr.), Professor, leading researcher at the Laboratory of Advanced Technologies of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia; e-mail: velikii-1@yandex.ru.

Selionova Marina Ivanovna, Dr. Sc. (Biol.), Professor of the Russian Academy of Science, head of the Department of Breeding, Genetics and Biotechnology of Animals of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia; e-mail: m\_selin@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 01.02.2022.

Дата принятия к печати – 20.02.2022.

УДК 633.81

EDN INBAVN

Невкрытая Н. В.<sup>1</sup>, Аметова Э. Д.<sup>1</sup>, Новиков И. А.<sup>2</sup>, Грунина Е. Н.<sup>1</sup>, Коротких И. Н.<sup>3</sup>,  
Аникина А. Ю.<sup>4</sup>

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ДВУХ СОРТОВ МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

<sup>1</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

<sup>2</sup>ФГАОУ «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»;

<sup>3</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»;

<sup>4</sup>Северо-Кавказский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»

**Реферат.** Сорты растений выводят в конкретных почвенно-климатических условиях. Для уточнения характера проявления показателей их продуктивности в других регионах требуется проведение экологических испытаний. Цель исследований – экологическое испытание сортов мелиссы лекарственной для установления регионов, условия которых благоприятны для их возделывания. Сравнительное экологическое испытание сортов мелиссы Крымчанка (селекции ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма») и Лада (селекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений») проведено в трех регионах: Предгорье Крыма, Подмосковье и Западное Предкавказье (Краснодарский край) в 2017–2019 гг. в соответствии с методическими рекомендациями для эфиромасличных растений. Анализ компонентного состава эфирного масла выполнен на газовом хроматографе Кристалл 5000.2. Показаны существенные различия сортов по продуктивности в зависимости от особенностей генотипа, соотношения режима температуры и влажности в период вегетации растений. Установлено, что сорт Крымчанка достоверно превосходит сорт Лада по содержанию эфирного масла в воздушно-сухом сырье – в 1,4–2,4 раза в зависимости от структуры сырья и региона его получения. Показано, что наиболее благоприятными для выращивания мелиссы являются условия Предгорья Крыма, а наименее – Подмосковья. Так, средний урожай сырья сорта Крымчанка в Подмосковье вдвое ниже, чем в Крыму (в среднем 104,2 и 50,5 кг/га соответственно); сбор эфирного масла ниже в 2,6 раза (4,2 и 1,6 кг/га). Кроме того, в Подмосковье возможно частичное или полное вымерзание растений (до 50–95 %). Соотношение основных компонентов эфирного масла (цитраль, кариофиллен, кариофилленоксид и гермакрен D) существенно зависит от гидротермических условий региона возделывания, вида сырья и сортовых особенностей растений.

**Ключевые слова:** мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.), экологическое испытание, продуктивность, компонентный состав эфирного масла.

**Для цитирования:** Невкрытая Н. В., Аметова Э. Д., Новиков И. А., Грунина Е. Н., Коротких И. Н., Аникина А. Ю. Сравнительное экологическое испытание двух сортов мелиссы лекарственной // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 90–102. EDN: INBAVN.

**For citation:** Nevkrytaya N. V., Ametova E. D., Novikov I. A., Grunina E. N., Korotkikh I. N., Anikina A. Yu. Comparative ecological studies of two *Melissa officinalis* L. varieties // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 90–102. EDN: INBAVN.

### Введение

При создании сортов любой сельскохозяйственной культуры исследовательскую работу проводят в условиях конкретного региона,

характеризующегося определенным комплексом почвенно-климатических условий. Однако дальнейшее производственное распространение сорта возможно в регионах, отличающихся метеорологическими, почвенными и другими условиями. В этом случае характер проявления показателей продуктивности может существенно различаться [1]. Для прогнозирования регионов, наиболее благоприятных для возделывания конкретных культур, сортов, гибридов желательным является их экологическое испытание [2–5].

В настоящее время в России актуально возрождение эфиромасличного производства с целью замещения импортируемой продукции переработки эфиромасличного сырья отечественной продукцией для ряда производств [6, 7].

В ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (НИИСХ Крыма) традиционно ведут селекционные исследования эфиромасличных культур. В настоящее время институт является собственником и оригинатором 48-ти сортов 16-ти видов эфиромасличных культур [8]. В их числе сорт Melissa лекарственной Крымчанка. В ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (ВИЛАР) создан сорт Лада [8].

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.) – многолетнее растение семейства Labiatae. Растительное сырье и продукты переработки этого вида, включая эфирное масло, широко востребованы в фармацевтической, парфюмерно-косметической промышленности и медицине, также его используют в качестве компонента чайных композиций. Эфирное масло мелиссы лекарственной обладает антиоксидантной, противовоспалительной, антимикробной и антидепрессивной активностью, используется при лечении нарушений сна, нейродегенеративных заболеваний и ожирения, а также в офтальмологии, гинекологии, онкологии, гастроэнтерологии, кардиологии и педиатрии [9, 10].

Содержание эфирного масла в сырье мелиссы крайне невелико. Получают его из свежего или воздушно-сухого сырья методом паровой отгонки. Выход эфирного масла составляет всего около 0,2 % от абсолютно сухой массы сырья [11, 12]. Поэтому важно определить оптимальные условия выращивания мелиссы лекарственной для получения качественного сырья.

**Цель исследований** – экологическое испытание сортов мелиссы лекарственной для определения регионов, условия которых благоприятны для их возделывания.

#### **Материал и методы исследования**

Сравнительное экологическое испытание сортов мелиссы Крымчанка (селекции НИИСХ Крыма) и Лада (селекции ВИЛАР) проведено в трех регионах: Крым (предгорная зона), Центральный регион Нечерноземной зоны РФ (Подмосковье) и Западное Предкавказье (Краснодарский край) в 2017–2019 гг.

Эти регионы имеют отличия почвенно-климатических условий в рамках умеренно-континентального климата (таблица 1) [13–15].

Подмосковье – регион с наиболее низким температурным режимом. По годовой сумме осадков Предгорье Крыма уступает и Подмосковью, и региону испытания в Краснодарском крае.

Существенные различия имеют почвы экспериментальных участков. По типу это черноземы – южные карбонатные в Крыму, выщелоченные – в Краснодарском крае и дерново-подзолистые – в Подмосковье.

Наиболее богата гумусом почва опытного участка в Краснодарском крае (среднее содержание – 3,7 %), почва слабокислая, pH – 5,9. Более бедные по содержанию гумуса почвы участков в Крыму и Подмосковье (среднее содержание – 2,35 и 2,55 % соответственно). Почва в Крыму – слабощелочная, (pH – 8,0 в среднем), в Подмосковье – кислая (pH – 4,6 в среднем).

Опытные участки заложены в Краснодарском крае осенью 2016 г., в Крыму и Подмосковье – весной 2017 г. Саженцы для закладки опытов во всех регионах получены путем вегетативного размножения обоих сортов. Делянки двухрядные длиной 5 м, ширина междурядий – 0,6 м, площадь делянки – 6 м<sup>2</sup>. Количество растений на двухрядной делянке – 34 (по 17 растений в ряду). Повторность опыта трехкратная.

**Таблица 1 – Почвенно-климатические условия регионов проведения исследования [13–15]**

Показатель	Восточная предгорная часть Крыма	Западное Предкавказье (Краснодарский край)	Центральный регион Нечерноземной зоны (Московская область)
макроклиматические показатели			
Тип климата	умеренно-континентальный	умеренно-континентальный	умеренно-континентальный
Годовая сумма эффективных температур, °С	3200–3400	3550–3600	1371
Годовая сумма осадков, мм	450–500	600–700	550–560
Средняя годовая испаряемость с поверхности, мм	460–484	550–742	420
Гидротермический коэффициент увлажнения (Г.Т. Селянинова)	0,9	0,3–0,4	1,4
Суммарная годовая солнечная радиация, ккал/см <sup>2</sup>	112–128	115–120	87–89
Средняя суточная температура самого теплого месяца, °С	+22,3 (июль)	+22,6 (июль)	+18,2 (июль)
Средняя суточная температура самого холодного месяца, °С	–0,8 (январь)	–2,1(январь)	–9,2(январь)
Продолжительность периода со средней суточной температурой выше 0 °С, дней	292	300–310	180–220
агробиологические показатели почв			
Тип	южные карбонатные черноземы	типичные выщелоченные черноземы	дерново-подзолистые черноземы
Гранулометрический состав	тяжелые суглинки	тяжелые суглинки	средние суглинки
Кислотность, ед. рН	8,0	5,9	4,6

Учеты и анализы основных морфо-биологических признаков (высота и диаметр растений, соотношение свежей и воздушно-сухой массы сырья, доля соцветий и листьев в общей массе свежего и воздушно-сухого сырья), показателей продуктивности (урожайность свежего и воздушно-сухого сырья, сбор эфирного масла) проводили в фазе полного цветения в соответствии с методическими рекомендациями для эфиромасличных растений [16]. Одновременно заготавливали сырье для проведения биохимических анализов. Биохимические и показатели продуктивности учтены для общей и полезной массы (сырье без стеблей). Содержание эфирного масла определяли в свежем и воздушно-сухом сырье (влажность – не более 12 %) [17]. Для корректности сравнения и исключения погрешности анализа, определение массовой доли эфирного масла в воздушно-сухом сырье всех трех регионов и его компонентного состава выполнен в лаборатории биохимии НИИСХ Крыма. Сравнение сортов по содержанию эфирного масла в свежем сырье проведено только в Крыму.

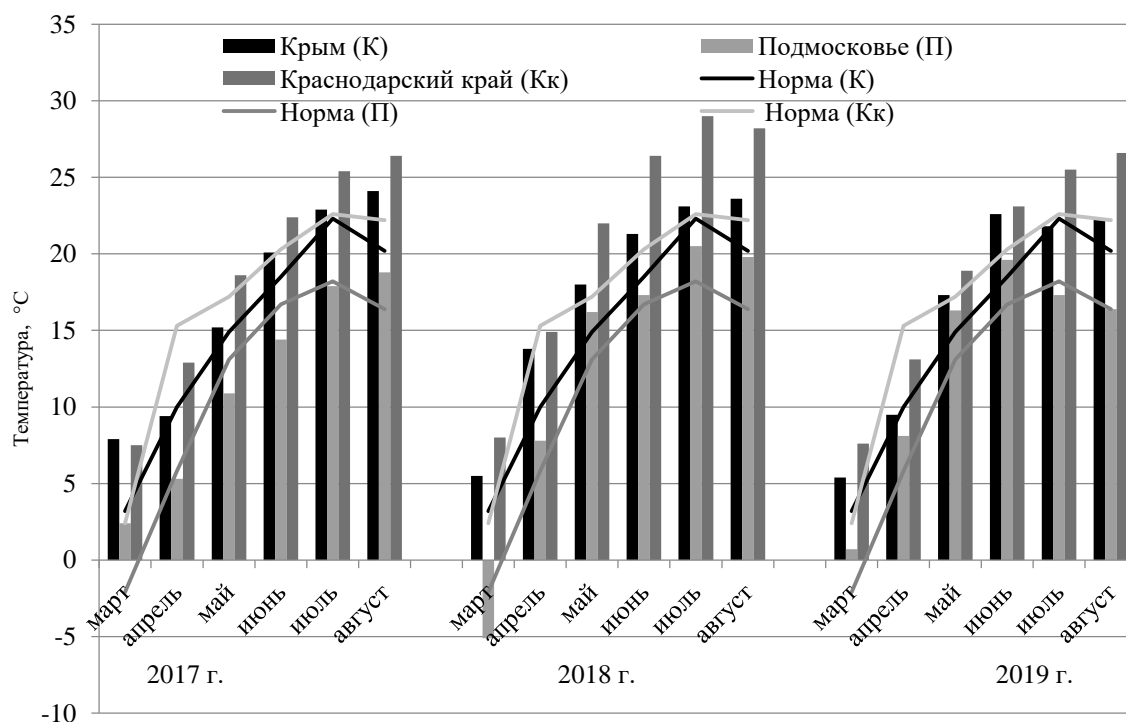
Сравнительный анализ компонентного состава эфирного масла выполнен на газовом хроматографе Кристалл 5000.2 при следующих технических условиях: газ-носитель – гелий марки А; тип детектора – пламенно-ионизационный; колонка

капиллярная CR-WAXms размером 30 м × 0,32 мм; толщина слоя неподвижной фазы – 0,5 мкм.; температура детектора – 250 °С; температура испарителя – 230 °С; расход газа-носителя – 1,9 мл/мин. Программирование температуры: начальная температура колонки – 75 °С с выдержкой в 1 минуту; скорость нагрева – 4 °С/мин; конечная температура колонки – 220 °С без выдержки; длительность анализа – 37,3 мин; деление потока – 1:20. Идентификацию компонентов эфирных масел проводили методом «fingerprints» (сравнение хроматографических профилей) [18]. Предварительно проведено сопоставление хроматограмм, полученных на хромато-масс-спектрометре Agilent Technologies 6890N с масс-селективным детектором Agilent 5973N и на хроматографе Кристалл 5000.2 при одинаковых условиях хроматографирования.

Проведена статистическая обработка полученных данных с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2010 [19].

### Результаты и их обсуждение

В годы проведения исследования метеоусловия в период активной вегетации растений значительно различались по регионам. Самые высокие температуры отмечены в Краснодарском крае, а самые низкие – в Подмосковье (рисунок 1).

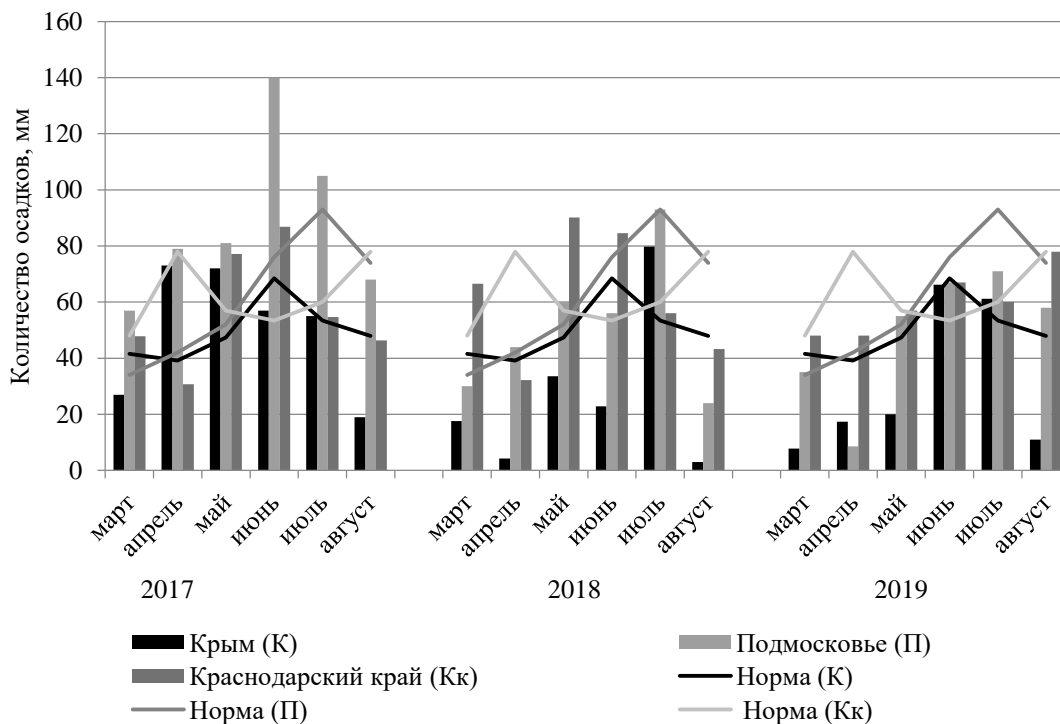


**Рисунок 1 – Среднемесячные температуры в период вегетации в регионах исследования**

Также, соответственно характеристике регионов, отмечены различия в количестве осадков (рисунок 2).

Самым засушливым из всех регионов является экспериментальный участок в Предгорной зоне Крыма. Наиболее влажным за годы исследований во всех трех регионах был весенне-летний период 2017 г. В 2018 г. в Краснодарском крае количество выпавших осадков было несколько больше, чем в предыдущем году. Более засушливым был этот сезон для Подмосковья и экстремальным в условиях Крымского Предгорья, где наблюдали высокие температуры при минимальном количестве осадков. В 2019 г. во всех трех регионах температурный режим и

количество осадков были ниже, чем в предыдущие годы. Однако в Крыму сочетание температурного фактора и количества осадков было не столь экстремальным по сравнению с 2018 г.



**Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков в период вегетации в регионах исследования**

Необходимо отметить, что самыми низкими температурами отличалась весна 2019 г. в Подмосковье. Минимальная температура в марте достигала минус 11,6 °С. В этих условиях практически полностью (на 95 %) вымерз сорт Крымчанка. Более устойчивым к низким температурам оказался сорт Лада, сохранивший 50 % растений. Поэтому анализ показателей продуктивности сорта Крымчанка не проводили, а продуктивность сорта Лада оценили с учетом оставшихся растений. Средний показатель для сорта Крымчанка рассчитан по данным за два года. Следует учесть, что Крымчанка – это сорт-клон и все растения являются генетически однотипными, а Лада – сорт семенного размножения. И хотя закладка опытного участка и для сорта Лада также проведена саженцами, полученными от разных растений, выращенных из семян, он характеризуется более широким генотипическим разнообразием. Это и проявилось в различной зимостойкости сортов.

Особенности метеоусловий в регионах в годы проведения исследований обусловили различия в характере проявления морфо-биологических параметров и показателей продуктивности изучаемых сортов и образцов эфиромасличных растений.

Сроки начала отрастания и проведения учетов (в фазе цветения) различались по годам и регионам (таблица 2).

Сроки начала отрастания и массового цветения растений в значительной степени зависят от конкретных метеоусловий весенне–летнего периода. Так, в экстремально засушливых и жарких условиях 2018 г. в Крыму отрастание началось позже, чем в Краснодарском крае, а цветение – значительно раньше. В 2019 г. в менее контрастных условиях цветение Melissa в этих регионах наступило одновременно.



**Таблица 2 – Сроки начала отрастания и массового цветения Melissa**

Регион	Посадка (отрастание)	Начало отрастания		Массовое цветение		
		2018	2019	2017	2018	2019
Предгорье Крыма	05.04.2017	06.03	26.04	10-11.07	15.06	01.07
Подмосковье	23.05.2017	14.03	13.05	05-09.08	04.07	29.06
Краснодарский край	03.10*	14.05	20.03	21.07	16.07	03.07

*Примечание.* \* дата отрастания, поскольку посадка проведена осенью 2016 г.

Результаты изучения морфологических показателей растений и некоторых структурных элементов сырья приведены в таблице 3.

Высота растений обоих сортов существенно отличалась по регионам. Наибольшей высоты сорта Крымчанка (76,0–78,5 см) и Лада (79,0–82,0 см) достигали в условиях повышенной влажности и высоких температур воздуха в Краснодарском крае. В условиях наименьшего температурного режима в Подмосковье растения были существенно ниже – 23,4–31,7 и 27,7–34,7 см соответственно. В Крыму и Подмосковье не отмечено отличие сортов по этому параметру, а в условиях Краснодарского края высота растений сорта Лада была достоверно выше, чем сорта Крымчанка.

**Таблица 3 – Характеристика морфо-биологических показателей сортов Melissa лекарственной Крымчанка и Лада**

Сорт	Год	Высота растения, см	Диаметр куста, см	Отношение воздушно-сухой массы сырья к массе свежего сырья, %	Доля соцветий и листьев в общей массе свежего сырья, %	Доля соцветий и листьев в общей массе воздушно-сухого сырья, %
<b>Крым (предгорная зона)</b>						
Крымчанка	2017	46,4 ± 1,6	61,9 ± 3,7	33,4	78,5	65,3
	2018	53,0 ± 1,2	73,0 ± 2,3	37,0	65,7	59,1
	2019	51,1 ± 1,7	62,3 ± 2,0	31,3	64,6	62,4
	среднее	50,2 ± 2,0	65,7 ± 3,6	33,9	69,6	62,3
Лада	2017	47,4 ± 1,7	64,4 ± 2,8	35,6	78,4	64,9
	2018	62,3 ± 2,4	76,0 ± 2,6	37,5	66,6	60,6
	2019	55,4 ± 2,1	60,9 ± 2,1	34,6	63,1	61,3
	среднее	55,0 ± 4,3	67,1 ± 4,6	35,9	69,4	62,3
<b>Центральный регион Нечерноземной зоны РФ (Подмосковье)</b>						
Крымчанка	2017	31,7 ± 0,0	36,5 ± 1,2	33,4	65,7	63,3
	2018	23,4 ± 0,9	37,2 ± 1,9	33,7	75,4	81,4
	2019	27,3 ± 1,5	26,0 ± 2,5	-	-	-
	среднее	27,5 ± 2,4	33,2 ± 3,6	33,5	70,6	72,4
Лада	2017	34,7 ± 0,2	32,7 ± 3,3	33,1	67,7	67,0
	2018	29,9 ± 0,6	35,1 ± 1,1	35,3	76,9	84,8
	2019	27,7 ± 0,9	27,6 ± 1,3	35,7	71,3	71,6
	среднее	30,8 ± 2,1	31,8 ± 2,2	34,7	72,0	74,5
<b>Западное Предкавказье (Краснодарский край)</b>						
Крымчанка	2017	76,0 ± 2,2	60,5 ± 1,1	29,9	59,2	58,3
	2018	78,1 ± 2,5	65,0 ± 2,0	34,5	64,6	58,7
	2019	78,5 ± 1,0	69,2 ± 2,3	42,0	68,0	63,2
	среднее	77,5 ± 0,8	64,9 ± 2,5	35,5	63,9	60,1
Лада	2017	81,6 ± 1,7	64,5 ± 1,1	33,0	59,3	58,0
	2018	82,0 ± 2,7	65,7 ± 2,1	38,3	64,6	58,8
	2019	79,0 ± 1,3	69,0 ± 1,7	42,3	68,1	64,1
	среднее	80,9 ± 0,9	66,4 ± 1,3	37,9	64,0	60,3

Сорта по диаметру растения не различались между собой ни в одном из регионов. Одинакового диаметра (в среднем 64–67 см) достигли растения в Крыму и Краснодарском крае. В Подмосковье показатель был вдвое ниже – в среднем 32–33 см.

При высушивании свежего сырья теряется до 64,5 % массы. В итоге масса воздушно-сухого сырья составляет в среднем 33,5–37,9 % от исходной.

Железистые структуры, в которых происходит накопление эфирного масла, сосредоточены на листьях и цветках. Стебли в этом отношении являются балластом. Для заготовителей сырья представляет интерес информация о соотношении частей растения в общей массе сырья. Как показывает проведенный анализ, наибольшая доля соцветий и листьев отмечена в сырье, выращенном в Подмосковье: в среднем она составила 70,6–72,0 % в свежем и 72,4–74,5 % в воздушно-сухом сырье. В этом регионе растения имеют менее развитый стебель. В Крыму доля соцветий и листьев составляет в среднем 69,5 % в свежем и 62,3 % – в воздушно-сухом сырье. Самая высокая доля стеблей в сырье из Краснодарского края, где растения достигают наибольшей высоты: в среднем 36,0 % в свежем и 39,8 % в воздушно-сухом сырье.

Показатели продуктивности изучаемых сортов приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Сравнительная характеристика показателей продуктивности сортов мелиссы лекарственной в разных условиях выращивания**

Сорт	Структура сырья	Год	Урожайность зеленой массы, ц/га		Массовая доля эфирного масла, %			Сбор эфирного масла, кг/га	
			свежее сырье	воздушно-сухое сырье	свежее сырье	абсолютно сухое сырье	воздушно-сухое сырье	свежее сырье	воздушно-сухое сырье
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Крым (предгорная зона)									
Крымчанка	общая масса	2017	69,4 ± 7,3	23,4 ± 3,3	0,05 ± 0,04	0,14 ± 0,01	0,19 ± 0,02	3,2 ± 0,4	4,5 ± 0,9
		2018	122,2 ± 4,6	45,0 ± 4,0	0,05 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,08 ± 0,01	5,7 ± 1,2	3,9 ± 0,7
		2019	121,1 ± 7,8	38,0 ± 3,0	0,03 ± 0,01	0,09 ± 0,04	0,11 ± 0,00	3,2 ± 1,3	4,3 ± 0,3
		среднее	104,2 ± 9,3	35,6 ± 3,7	0,04 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,13 ± 0,02	4,0 ± 0,7	4,2 ± 0,4
	масса без стеблей	2017	54,4 ± 5,2	15,1 ± 1,8	0,09 ± 0,02	0,26 ± 0,07	0,39 ± 0,04	4,3 ± 0,6	5,9 ± 0,5
		2018	80,0 ± 3,9	26,7 ± 2,6	0,10 ± 0,01	0,33 ± 0,04	0,20 ± 0,01	8,2 ± 0,6	5,3 ± 0,3
		2019	78,3 ± 6,0	42,7 ± 2,5	0,05 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,16 ± 0,01	4,5 ± 0,2	3,8 ± 0,3
		среднее	71,8 ± 5,3	21,8 ± 2,0	0,08 ± 0,01	0,26 ± 0,03	0,25 ± 0,04	5,6 ± 0,7	5,0 ± 0,4
Лада	общая масса	2017	83,2 ± 6,3	29,6 ± 2,2	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,02	0,0 ± 0,0	1,9 ± 0,7
		2018	135,9 ± 8,7	50,6 ± 2,0	0,01 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,05 ± 0,00	1,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1
		2019	123,3 ± 5,1	23,7 ± 1,8	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,0 ± 0,0	2,0 ± 0,3
		среднее	114,0 ± 8,6	41,0 ± 3,3	0,00 ± 0,00	0,0 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,6 ± 0,3	2,1 ± 0,2
	масса без стеблей	2017	63,6 ± 5,6	19,1 ± 1,1	0,03 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,15 ± 0,03	1,9 ± 0,4	2,8 ± 0,7
		2018	90,6 ± 7,5	30,6 ± 1,1	0,05 ± 0,01	0,18 ± 0,03	0,09 ± 0,01	4,9 ± 1,0	2,8 ± 0,4
		2019	77,8 ± 5,7	26,2 ± 1,7	0,02 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01	1,6 ± 0,2	2,1 ± 0,3
		среднее	77,3 ± 5,0	25,3 ± 1,8	0,03 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,01	2,8 ± 0,6	2,5 ± 0,3
Центральный регион Нечерноземной зоны РФ (Подмосковье)									
Крымчанка	общая масса	2017	49,3 ± 1,6	16,4 ± 0,4	-	-	0,11 ± 0,00	-	1,8 ± 0,0
		2018	51,7 ± 1,7	17,5 ± 0,8	-	-	0,08 ± 0,00	-	1,3 ± 0,1
		2019	-	-	-	-	-	-	-
		среднее	50,5 ± 1,2	17,0 ± 0,6	-	-	0,09 ± 0,02	-	1,6 ± 0,2
	масса без стеблей	2017	32,0 ± 0,8	10,3 ± 0,1	-	-	0,23 ± 0,00	-	2,4 ± 0,1
		2018	38,3 ± 0,0	14,2 ± 0,9	-	-	0,15 ± 0,00	-	2,1 ± 0,1
		2019	-	-	-	-	-	-	-
		среднее	35,2 ± 3,2	12,3 ± 2,0	-	-	0,19 ± 0,04	-	2,3 ± 0,1
Лада	общая масса	2017	53,2 ± 1,7	17,7 ± 0,5	-	-	0,05 ± 0,00	-	0,9 ± 0,0
		2018	76,6 ± 1,7	27,5 ± 0,8	-	-	0,05 ± 0,00	-	1,4 ± 0,0

## Продолжение таблицы 4

1	2	2019	33,3 ± 0,5	11,9 ± 0,0	-	-	0,05 ± 0,00	-	0,6 ± 0,0
		среднее	54,4 ± 12,5	19,0 ± 4,6	-	-	0,05 ± 0,00	-	1,0 ± 0,2
	масса без стеблей	2017	35,9 ± 1,2	11,8 ± 0,5	-	-	0,18 ± 0,00	-	2,1 ± 0,1
		2018	56,7 ± 0,0	23,5 ± 1,7	-	-	0,08 ± 0,03	-	2,1 ± 0,4
		2019	23,8 ± 0,6	8,5 ± 0,2	-	-	0,09 ± 0,00	-	0,8 ± 0,0
		среднее	37,8 ± 10,4	16,7 ± 3,5	-	-	0,113 ± 0,031	-	1,6 ± 0,4
Крым (предгорная зона)									
Западное Предкавказье (Краснодарский край)									
Крымчанка	общая масса	2017	71,1 ± 3,9	21,5 ± 3,2	-	-	0,08 ± 0,01	-	1,8 ± 0,4
		2018	109,5 ± 1,5	39,5 ± 1,5	-	-	0,06 ± 0,01	-	2,3 ± 0,4
		2019	117,7 ± 1,9	44,7 ± 5,6	-	-	0,14 ± 0,01	-	1,6 ± 0,2
		среднее	99,4 ± 14,4	35,2 ± 7,0	-	-	0,09 ± 0,01	-	1,9 ± 0,2
	масса без стеблей	2017	42,1 ± 0,4	12,3 ± 1,6	-	-	0,15 ± 0,01	-	1,9 ± 0,3
		2018	70,5 ± 1,5	22,8 ± 0,5	-	-	0,12 ± 0,01	-	2,7 ± 0,2
2019		80,1 ± 1,4	28,3 ± 3,8	-	-	0,23 ± 0,02	-	1,9 ± 0,1	
	среднее	64,2 ± 11,4	21,1 ± 4,7	-	-	0,17 ± 0,02	-	2,1 ± 0,3	
Лада	общая масса	2017	79,5 ± 3,6	26,5 ± 3,1	-	-	0,05 ± 0,00	-	1,3 ± 0,2
		2018	115,0 ± 1,7	43,9 ± 1,1	-	-	0,05 ± 0,00	-	2,2 ± 0,1
		2019	118,3 ± 2,0	50,1 ± 2,6	-	-	0,10 ± 0,02	-	1,2 ± 0,2
		среднее	104,3 ± 12,4	40,2 ± 7,1	-	-	0,07 ± 0,01	-	1,6 ± 1,1
	масса без стеблей	2017	47,1 ± 2,1	15,4 ± 1,8	-	-	0,10 ± 0,00	-	1,5 ± 0,2
		2018	74,5 ± 1,5	26,1 ± 0,6	-	-	0,08 ± 0,00	-	2,0 ± 0,0
		2019	80,5 ± 1,5	32,1 ± 1,9	-	-	0,18 ± 0,02	-	1,7 ± 0,1
		среднее	67,4 ± 10,3	24,5 ± 4,9	-	-	0,12 ± 0,02	-	1,7 ± 0,1

Средние показатели урожая за годы исследований в разных регионах сорта не различались. Однако в 2017 и 2018 гг. урожай как общей массы, так и массы без стеблей сорта Лада была в большинстве вариантов выше, чем сорта Крымчанка. По урожаю воздушно-сухого сырья сорта, как правило, достоверно не различались.

По содержанию эфирного масла в свежем сырье сорт Крымчанка достоверно превосходит сорт Лада [20]. Массовая доля эфирного масла в общей массе свежего сырья (в пересчете на абсолютно сухую массу) сорта Крымчанка, в среднем за годы исследования, составляет  $0,13 \pm 0,02$  %, что в 9,1 раза больше, чем у сорта Лада.

Следует отметить, что в 2017 и 2019 гг. при анализе общей массы свежего сырья сорта Лада были зарегистрированы лишь следы эфирного масла, а в 2018 г. этот показатель составлял  $0,04 \pm 0,00$  % (у Крымчанки –  $0,15 \pm 0,03$  %). Содержание эфирного масла в свежем сырье без стеблей существенно выше и составило в среднем у сортов Крымчанка и Лада  $0,23 \pm 0,03$  и  $0,11 \pm 0,02$  % соответственно.

Сорт Крымчанка достоверно превосходит сорт Лада по содержанию эфирного масла в воздушно-сухом сырье – в 1,4–2,4 раза (в зависимости от структуры сырья и региона его получения). Менее всего выражены различия сортов по этому показателю в Краснодарском крае.

Основными компонентами эфирного масла обоих сортов Melissa являются: цитраль (смесь изомеров – E-гераниаль и Z-нераль), β-кариофиллен, кариофилленоксид и гермакрен D. В целом, содержание цитраля в эфирном масле из общей массы воздушно-сухого сырья отмечено в пределах от 9,2 до 48,9 %, из сырья без стеблей – от 10,8 до 53,0 % соответственно. Содержание кариофиллена – от 6,4 до 22,6 % и от 9,0 до 19,5 %, кариофиллинооксида – от 1,8 до 20,7 % и от 1,7 до 21,4 % и гермакрена D – от 2,1 до 21,1 % и от 1,9 до 17,0% соответственно,

Установлено, что соотношение основных компонентов эфирного масла существенно зависит от гидротермических условий, вида сырья и сортовых особенностей [21]. Как показали наши исследования, содержание гермакрена D значительно выше в эфирном масле из общей массы сырья сортов Крымчанка и Лада,

выращенных в условиях Предгорья Крыма (13,7–17,0 % соответственно), по сравнению с его содержанием в эфирном масле из сырья, выращенного в Подмосковье и Краснодарском крае (4,2–4,9 и 2,4–6,4 % соответственно). Также в эфирном масле из крымского сырья увеличено содержание  $\beta$ -кариофиллена (19,0–15,4 % соответственно по сортам) по сравнению с эфирным маслом из двух других регионов (10,6–9,1 и 9,1–9,0 %). Остальные компоненты, как правило, в больших количествах накапливались в эфирном масле из сырья, выращенного в Краснодарском крае.

Полученные результаты позволяют предположить, что, контролируя условия температуры и влажности при выращивании Melissa лекарственной, возможно корректировать соотношение основных компонентов эфирного масла. При этом следует учитывать особенности реакции сортов на условия выращивания [22].

По сбору эфирного масла сорт Крымчанка также существенно превосходил сорт Лада при выращивании его в Крыму и Подмосковье и в большинстве вариантов в Краснодарском крае. Оптимальными для накопления эфирного масла являются условия повышенных температур в период бутонизации – цветения растений. В этом отношении в Крыму наиболее благоприятными были 2017 и 2018 гг. Даже в условиях экстремальной засухи 2018 г. был получен достаточно высокий урожай сырья и сбор эфирного масла. В 2019 г. засушливым был весенний период. В июне количество осадков фактически соответствовало среднегодовому показателю (96 %). Но, так как период осадков совпал с периодом цветения, даже в условиях высоких температур содержание эфирного масла в сырье было самым низким за все годы проведения исследований.

Результаты сравнительного изучения двух сортов наглядно показывают более высокую приспособленность сорта к экологическим условиям места его выведения [21, 22]. Так, в условиях Краснодарского края содержание эфирного масла в воздушно-сухом сырье сорта Крымчанка было, как правило, ниже, а у сорта Лада – выше, чем в условиях Предгорья Крыма. Но даже и в этих условиях сорт Крымчанка превосходил по данному показателю сорт Лада. Однако благодаря более высокой урожайности сырья сорта Лада в этом регионе сбор эфирного масла в 2017 и 2018 гг. достоверно не отличался от такового сорта Крымчанка.

Таким образом, данные экологического испытания сортов Melissa лекарственной Крымчанка и Лада показали, что Предгорье Крыма является наиболее благоприятным регионом для их выращивания. Менее благоприятны условия Краснодарского края, где содержание и сбор эфирного масла из выращенного сырья обоих сортов значительно уступает таковому в Крыму. Наименее подходят для выращивания Melissa лекарственной условия Подмосковья, где есть вероятность полного или частичного вымерзания растений (до 50–95 %).

### Выводы

В результате экологического испытания в трех регионах РФ двух сортов Melissa лекарственной – Крымчанка и Лада показаны существенные различия продуктивности в зависимости от особенностей сорта, а также от соотношения режима температуры и влажности в период вегетации растений.

Сорт Крымчанка достоверно превосходил сорт Лада и по содержанию эфирного масла в воздушно-сухом сырье – в 1,4–2,4 раза в зависимости от структуры сырья и региона его получения.

Соотношение основных компонентов эфирного масла исследованных сортов Melissa лекарственной Крымчанка и Лада – цитраля, кариофиллена, кариофилленоксида и гермакрена D существенно зависит от гидротермических условий региона, вида сырья и сортовых особенностей.

Наиболее благоприятны для выращивания обоих сортов условия Предгорья Крыма, а наименее благоприятны – условия Подмосковья, где возможно частичное или полное вымерзание растений (до 50–95 %).

## Литература

1. Невкрытая Н. В., Мишнев А. В. Актуальные направления биохимических исследований эфиромасличных растений (Обзор. Часть I) // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4(16). С. 102–123. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.10.
2. Кузьмицкая Г. А., Юречко Т. К. Экологическое испытание сортов огурцов сибирской селекции в условиях муссонного климата Хабаровского края // Дальневосточный аграрный вестник. 2016. № 3(39). С. 19–25.
3. Децына А. А., Илларионова И. В. Экологическое испытание новых сортов селекции ВНИИМК // Масличные культуры. 2019. № 2(178). С. 22–26. DOI: 10.25230/2412-608x-2019-2-178-22-26.
4. Кузнецова Г. Н., Полякова Р. С. Результаты экологического испытания сортов и гибридов рапса ярового в условиях Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 2(34). С. 43–50.
5. Барбарян А. А., Матевосян Л. Г., Шабоян Г. Г., Казарян Р. Г., Алиханян Н. А. Экологическое испытание сортов нута в разных почвенно-климатических условиях Республики Армения // Евразийский союз ученых. 2020. № 8-5(77). С. 55–57. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.989.
6. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В. История, современное состояние и перспективы развития эфиромасличной отрасли // Аграрный вестник Урала. 2017. № 11 (165). С. 37–46.
7. Паштецкий В. С., Вердыш М. В., Попова А. А., Колесникова А. В. Анализ рынков эфиромасличной продукции и состояния эфиромасличного производства в Российской Федерации // Экономика строительства и природопользования. 2017. № 4(65). С. 49–54.
8. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений (по состоянию на 03 марта 2021 г.). 719 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04/Итоговый-реестр-2021.pdf> (дата обращения 22.01.2022).
9. Świąder K., Startek K., Wijaya C. H. The therapeutic properties of lemon balm (*Melissa officinalis* L.): reviewing novel findings and medical indications // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2019. No. 92. P. 327–335. DOI: 10.5073/JABFQ.2019.092.044.
10. Ieri F., Cecchi L., Vignolini P., Belcaro M. F., Romani A. HPLC/DAD, GC/MS and GC/GC/TOF analysis of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) sample as standardized raw material for food and nutraceutical uses // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2017. No. 31(2). P. 141–147. DOI: 10.13128/ahs-21091.
11. Войткевич С. А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. М.: Пищевая промышленность, 1999. 284 с.
12. Работягов В. Д., Палий А. Е., Курдюкова О. Н. Эфирные масла ароматических растений: монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 74–75.
13. Савчук Л. П. Климат предгорной зоны Крыма и эфирносы. Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2006. 76 с.
14. Агроклиматический справочник по Московской области. М.: Московский рабочий, 1967. 135 с.
15. Редькин Н. Е. Агрохимические особенности и водно-физические свойства черноземов Кубани // Труды Кубанского сельскохозяйственного института. 1968. Вып. 19. С. 27.
16. 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.
17. Биохимические методы анализа эфиромасличных растений и эфирных масел. Сборник научных трудов // Сост. Карпачева А. Н., Персидская К. Г., Лиштванова Л. Н. Симферополь: Министерство сельского хозяйства СССР. Научно-производственное объединение по эфиромасличным культурам и маслам. Всесоюзный научно-исследовательский институт эфиромасличных культур, 1972. 107 с.
18. Зенкевич И. Г., Пименов А. И., Пожарицкая О. Н., Шиков А. Н., Макаров В. Г. Сравнение хроматографических профилей как метод идентификации компонентов лекарственного растительного сырья в комплексных препаратах // Растительные Ресурсы. 2003. Т. 39. Вып. 3. С. 143–152.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
20. Невкрытая Н. В., Аметова Э. Д., Новиков И. А., Марченко М. П., Коротких И. Н., Аникина А. Ю. Показатели продуктивности Melissa лекарственной сорта Крымчанка при выращивании в разных почвенно-климатических условиях // Материалы III Международной научной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки». Симферополь: АРИАЛ, 2018. С. 148–149.
21. Невкрытая Н. В., Паштецкий В. С., Новиков И. А., Коротких И. Н., Тхаганов Р. Р. Изменчивость компонентного состава эфирного масла *Melissa officinalis* L. в зависимости от особенностей климатических условий региона возделывания // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 257–263. DOI: 10.14258/jcprm.2020016397.
22. Nevkrytaya N. V., Korotkikh I. N., Tropina N. S., Pashtetsky V. S., Mishnev A. V., Radchenko L. A. Productivity and quality of *Melissa officinalis* L. raw materials depending on the specific climatic conditions of the region // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Vol. 29. No. 7. P. 1869–1876. [Electronic recourse]. Access point: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17108/8672> (reference's date 03.02.2022).

## References

1. Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V. Actual and contemporary directions of biochemical research of oil-bearing plants (Review. Part I) // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 4(16). P. 102–123. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.10.
2. Kuzmitskaya G. A., Yurechko T. K. Ecological test of cucumber varieties of Siberian selection under conditions of monsoon climate of the Khabarovsk territory // Far Eastern Agrarian Herald. 2016. No. 3(39). P. 19–25.
3. Detsyna A. A., Illarionova I. V. Ecological testing of the new sunflower varieties of the breeding of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops // Oil Crops. 2019. No. 2(178). P. 22–26. DOI: 10.25230/2412-608x-2019-2-178-22-26.
4. Kuznetsova G. N., Polyakova R. S. Results of ecological trial of varieties and hybrids of spring rapeseed under the conditions of Western Siberia // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. No. 2 (34). P. 43–50.
5. Barbaryan A. A., Matevosyan L. G., Shaboyan G. G., Kazaryan R. G., Alikhanyan N. A. Ecological tests of chickpea varieties in different soil and climatic conditions of the Republic of Armenia // Eurasian Union Scientists. 2020. No. 8-5(77). P. 55–57. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.989.
6. Pashtetskiy V. S., Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V. History, modern state and prospects of the essential oil industry development // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 11 (165). P. 37–46.
7. Pashtetskiy V. S., Verdyshev M. V., Popova A. A., Kolesnikova A. V. Analysis of essential oils markets and state of essential production in the Russian Federation // Construction economic and environmental management. 2017. No. 4(65). P. 49–54.
8. State register for selection achievements admitted for usage. Vol.1 “Plant varieties” (as of 03 March 2021). 719 p. [Electronic resource]. Access point: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04/Итоговый-реестр-2021.pdf> (reference’s date 22.01.2022).
9. Świąder K., Startek K., Wijaya C. H. The therapeutic properties of Lemon balm (*Melissa officinalis* L.): reviewing novel findings and medical indications // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2019. No. 92. P. 327–335. DOI: 10.5073/JABFQ.2019.092.044.
10. Ieri F., Cecchi L., Vignolini P., Belcaro M. F., Romani A. HPLC/DAD, GC/MS and GC/GC/TOF analysis of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) sample as standardized raw material for food and nutraceutical uses // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2017. No. 31(2). P. 141–147. DOI: 10.13128/ahs-21091.
11. Voytkovich S. A. Essential oils for perfumery and aromatherapy. Moscow: Pischevaya promyshlennost (Food industry), 1999. 284 p.
12. Rabotyagov V. D., Paliy A. E., Kurdyukova O. N. Essential oils of aromatic plants: monograph. Simferopol: Publisher “ARIAL”, 2017. P. 29–30.
13. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: Private Enterprise “El’in’o”, 2006 76 p.
14. Agroclimatic reference for the Moscow region. Moscow: Moskovskiy rabochiy, 1967. 135 p.
15. Redkin N. E. Agrochemical features and water-physical properties of chernozems of the Kuban // Trudy Kubanskogo Selskokhozyaystvennogo Instituta. 1968. Iss. 19. P. 27.
16. Essential oil crops breeding (guidelines) // Ed. by Arinshteyn A. I. Scientific Production Association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIEMK). Simferopol, 1977. 151 p.
17. Biochemical methods of analysis of essential oil crops and essential oils. Collection of scientific works // Compiled by Karpacheva A. N., Persidskaya K. G., Lishtvanova L. N. Ministry of Agriculture of the USSR. Scientific Production Association for essential oil crops and oils. All-Union Research Institute of Aromatic Crops (VNIEMK). Simferopol, 1972. 107 p.
18. Zenkevich I. G., Pimenov A. I., Pozharitskaya O. N., Shikov A. N., Makarov V. G. Comparison of chromatographic profiles as a method for defining components of medicinal plant raw materials in complex preparations // Plant Resources. 2003. Vol. 39. Iss. 3. P. 143–152.
19. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
20. Nevkryaia N. V., Ametova E. D., Novikov I. A., Marchenko M. P., Korotkikh I. N., Anikina A. Yu. Productivity indicators of *Melissa officinalis* L. variety “Krymchanka” depending on the soil and climatic conditions of the region of cultivation // Proceedings of III International Scientific Conference “Current state, problems and prospects of the development of agrarian science”. Simferopol: Publisher “ARIAL”, 2018. P. 148–149.
21. Nevkrytaya N. V., Pashtetskiy V. S., Novikov I. A., Korotkikh I. N., Tkhanov R. R. Variability of component composition of *Melissa officinalis* L. essential oil depending on the climatic conditions of the region of cultivation // Khimija rastitel'nogo syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2020. No. 1. P. 257–263. DOI: 10.14258/jcprm.2020016397.
22. Nevkrytaya N. V., Korotkikh I. N., Tropina N. S., Pashtetskiy V. S., Mishnev A. V., Radchenko L. A. Productivity and quality of *Melissa officinalis* L. raw materials depending on the specific climatic conditions of the region // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Vol. 29. No. 7. P. 1869–1876. [Electronic recourse]. Access point: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17108/8672> (reference’s date 03.02.2022).

UDC 633.81

Nevkrytaya N. V., Ametova E. D., Novikov I. A., Grunina E. N., Korotkikh I. N., Anikina A. Yu.  
**COMPARATIVE ECOLOGICAL STUDIES OF TWO *MELISSA OFFICINALIS* L. VARIETIES**

**Summary.** *Plant varieties are bred in specific soil and climatic conditions. To obtain a more comprehensive picture of the productivity indicators manifestation nature in different regions, environmental testing is required. The aim of the research was to conduct the ecological trial of two varieties of *Melissa officinalis* L. to establish regions with favourable conditions for their cultivation. Comparative ecological trial of *M. officinalis* varieties 'Krymchanka' (breeder and owner – Research Institute of Agriculture of Crimea) and 'Lada' (breeder and owner – All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)) was carried out in three regions: Crimean foothills, Moscow region and Western Ciscaucasia (Krasnodar Territory) in 2017–2019 according to the guidelines for the essential oil crops breeding. For the essential oil component composition analysis, gas chromatograph Crystal 5000.2 was used. Significant differences in productivity depending on the characteristics of the genotype, ratio of temperature and humidity regimes during the growing season of plants are shown. In the course of the research, we identified that variety 'Krymchanka' significantly exceeded variety Lada in terms of the essential oil content in air-dry raw material – by 1.4–2.4 times depending on the structure of the raw material and the region of its production. The data obtained as a result of the experiment suggest that the most favourable conditions for *Melissa officinalis* growing are in the Crimean foothills; the least favourable ones – in the Moscow region. Thus, the average yield of raw materials of 'Krymchanka' in the Moscow region was twice lower than in the Crimea (on average, 104.2 and 50.5 kg/ha, respectively); collection of essential oil – 2.6 times lower (4.2 and 1.6 kg/ha). Furthermore, partial or total plants freezing (up to 50–95 %) is possible in the Moscow region. The ratio of the main components of the essential oil (citral, caryophyllene, caryophyllene oxide and germacrene D) significantly depended on the hydrothermal conditions of the region of cultivation, type of raw materials and varietal characteristics of plants.*

**Keywords:** *Melissa officinalis* L., ecological trial, productivity, essential oil component composition.

Невкрытая Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая отделом селекции селекционно-семеноводческого центра по эфиромасличным культурам ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Аметова Эльмира Джипаровна, заведующая сектором биохимических анализов ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: e-ametova@mail.ru.

Новиков Илья Александрович, сотрудник лаборатории молекулярной генетики и биотехнологий института биохимических технологий экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»; 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Вернадского, 4; e-mail: i.nowikow2012@yandex.ua.

Грунина Елена Николаевна, научный сотрудник отдела переработки и стандартизации эфиромасличного сырья ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: elgrunina@mail.ru.

Коротких Ирина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела агробиологии и селекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, 7, стр. 1; e-mail: slavnica241270@yandex.ru.

Аникина Анна Юрьевна, научный сотрудник Северо-Кавказского филиала ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 353225, Россия, Краснодарский край, ст. Васюринская; e-mail: krasnodarvilar@gmail.com.

Nevkrytaya Natalya Vladimirovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Department of breeding, Center of Essential Oil Crops Breeding and Seed Production, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nevkritaya@mail.ru.

Ametova Elmira Dzhyparovna, head of the Sector of biochemical analyzes, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: e-ametova@mail.ua.

Novikov Ilya Aleksandrovich, researcher of Laboratory of molecular genetics and biotechnology, Institute of Biochemical Technology, Ecology and Pharmacy – structural unit of V. I. Vernadsky Crimean Federal University V. I. Vernadsky Crimean Federal University; 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russia; e-mail: i.nowikow2012@yandex.ua.

Grunina Elena Nikolaevna, researcher of the Department of processing and standardization of essential oils, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: elgrunina@mail.ru.

Korotkikh Irina Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Department of the agrobiolgy and breeding, FSBSI “All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”; h.7, building 1, Grina Str., Moscow, 117216, Russia; e-mail: slavnica241270@yandex.ru.

Anikina Anna Yuryevna, researcher of the North Caucasus Branch of FSBSI “All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”; stanitsa Vasyurinskaya, Krasnodar Krai, 353225, Russia; e-mail: krasnodarvilar@gmail.com.

*Дата поступления в редакцию – 08.12.2021.*

*Дата принятия к печати – 22.03.2022.*



УДК 633.16.321.631.526.32:631.529

EDN JLSHTG

Николаев П. Н.<sup>1</sup>, Юсова О. А.<sup>1</sup>, Сафонова И. В.<sup>2</sup>, Аниськов Н. И.<sup>2</sup>

## АДАПТИВНОСТЬ НОВОГО СОРТА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОМСКИЙ 102 В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

<sup>1</sup>ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР)

**Реферат.** Высокая изменчивость климатических условий Западной Сибири обуславливает необходимость создания и распространения нового поколения сортов ярового ячменя, обладающих высокой и стабильной продуктивностью. Цель исследований – оценка адаптивности нового перспективного сорта ярового ячменя (*Hordeum sativum* Jess.) Омский 102. Эксперименты выполняли в 2016–2020 гг. на опытных полях Омского АНЦ (южная лесостепь, г. Омск). Сорта оценивали по сумме рангов показателей адаптивности: индексу стабильности (ИС), гомеостатичности (Нот), селекционной ценности сорта (Sc) по методике Хангильдина В. В., показателю относительной стабильности ( $St^2$ ), критерию стабильности (A) по Н. А. Соболеву, фактору стабильности (S.F.), генотипическому эффекту (Ei) по D. Lewis, показателю интенсивности (I) по Р. А. Удачину. Предмет исследования – новый перспективный сорт Омский 102, переданный на Государственное сортоиспытание в 2020 г. Сравнение вели со стандартным сортом (St.) Омский 95 и последним переданным сортом Омский 101. Сорт Омский 102 отличается повышенной урожайностью (5,64 т/га, +0,8 т/га к St.), массой 1000 зерен (55,9 г, +11,0 г к St.), содержанием крахмала (55,7 %, +1,0 % к St.). Отмечен повышенный сбор белка (655,9 кг/га, +98,9 кг/га к St.), сырого жира (98,1 кг/га, +7,06 кг/га к St.) и крахмала (3,0 т/га, +0,35 т/га к St.). Согласно ранговой оценке, рассчитанной по параметрам адаптивности, сорт Омский 102 является адаптивным для условий Западной Сибири (сумма рангов составила 11) благодаря превышению стандарта по следующим параметрам: индекс стабильности (ИС = 26,2), гомеостатичность (Нот = 8,91) и селекционная ценность сорта (Sc = 17,82) по Хангильдину; стабильности признака ( $St^2 = 0,96$ ) и критерий стабильность признака (A = 5,53) по Соболеву; фактор стабильности (S.F. = 1,78) и генотипический эффект (Ei = 0,30) по Lewis. Сорт проходит государственное сортоиспытание по Уральскому (9), Западно-Сибирскому (10), Восточно-Сибирскому (11) регионам.

**Ключевые слова:** ячмень (*Hordeum sativum* Jess.), сорт, урожайность, качество зерна, адаптивность.

**Для цитирования:** Николаев П. Н., Юсова О. А., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Адаптивность нового сорта ярового ячменя Омский 102 в условиях Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 103–111. EDN: JLSHTG.

**For citation:** Nikolaev P. N., Yusova O. A., Safonova I. V., Aniskov N. I. Adaptability of a new spring barley variety 'Omskiy 102' under conditions of Western Siberia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 103–111. EDN: JLSHTG.

### Введение

Ячмень является важнейшей универсальной в использовании зернофуражной культурой [1, 2]. В настоящее время стратегия развития растениеводческой отрасли направлена на осуществление продовольственной безопасности страны. В данном

аспекте создание и внедрение в производство сортов отечественной селекции актуально и востребовано. Однако изменяющиеся условия климата диктуют свои условия – создаваемые сорта должны характеризоваться повышенной адаптивностью (то есть иметь способность к стабильному формированию высококачественного урожая вне зависимости от складывающихся в течение периода вегетации климатических факторов) [3, 4]. Кроме повышенной урожайности, сорта должны обеспечивать высокое качество продукции, в частности повышенный сбор питательных элементов с единицы площади [5, 6].

Омский аграрный научный центр является комплексным научным учреждением, ведущим исследования по перспективным направлениям в области сельскохозяйственного производства (фундаментальные, поисковые и прикладные научные исследования по селекции и семеноводству, агротехнологиям, кормопроизводству, животноводству, птицеводству, ветеринарии, механизации и экономике). Получаемые результаты являются значимыми в технологическом, экономическом и социальном развитии агропромышленного комплекса.

Одним из структурных подразделений Центра является лаборатория селекции зернофуражных культур. За период с 1936 г. создано и внесено в Государственный реестр достижений РФ 22 сорта ячменя. Все сорта отличаются повышенными показателями продуктивности и качества зерна, устойчивостью к засухе и листовостебельным заболеваниям. Адаптивность данных сортов подтверждает наличие допуска к их использованию не только по 10 (Западно-Сибирскому) региону, но также по 11 (Восточно-Сибирскому) и 9 (Уральский) регионам.

Созданные ранее сорта включают в план гибридизации и они становятся базой для создания новых. Безусловно, полученный селекционный материал на всех этапах изучения требует всесторонней оценки по множеству показателей продуктивности и качества зерна.

**Цель исследований** – оценка адаптивности нового перспективного сорта ярового ячменя (*Hordeum sativum* Jess.) Омский 102.

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

Исследования проведены в 2016–2020 гг. в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (южная лесостепь Западной Сибири).

Почва представлена черноземом луговым среднемощным тяжелосуглинистым. Содержание гумуса (ГОСТ 26424-85) варьировало от 5,90 до 7,00 %, подвижного фосфора – 90–120 мг/кг; калия – 240–320 мг/кг почвы (ГОСТ 26204-91), нитратного азота (ГОСТ 26951-86) – 6,0 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 40,0 мг-экв./100 г почвы, рН<sub>КСЛ</sub> почвенного раствора – 6,3–6,6 ед. В составе катионов преобладает кальций (90,0 %), на магний приходится 9,5 % от общей емкости поглощения, натрия – менее 0,5 %.

Опыт заложен рендомизированными блоками, в четырех несмежных повторностях, в севообороте третьей культурой после пара. Площадь опытной делянки составляет 10 м<sup>2</sup>. Предпосевная обработка заключалась в культивации степняком КС-5,6. Посев проводили в оптимальные сроки (как правило, третья декада мая) рядовым способом сеялкой ССФК-7 при норме высева 4 млн всхожих семян на гектар. Согласно технологии возделывания, в селекционных питомниках система удобрений отсутствует [7]. Защита посевов проведена препаратами «Примадонна» и «Овсюген» (0,5 л/га), а также «Гранат» (0,015 кг/га).

Метеорологические условия периодов вегетации характеризовались высокой контрастностью, что отразилось на распределении осадков как по годам, так и за вегетационный период (май–август). Умеренно прохладная погода зафиксирована в 2018 г. (недобор температур составил 1,7 °С к среднемноголетним данным). С 2015 по 2017 гг. превышение к норме составило 0,3–0,8 °С соответственно. Дефицит осадков

отмечен в 2014, 2017 и 2020 гг. (61,0–78,0 % от среднегодовалого). Переизбыток увлажнения наблюдали в 2018 г.; оптимальное – в 2015, 2016 и 2019 гг.

Предмет исследования – новый перспективный сорт ячменя (*Hordeum sativum* Jess.) Омский 102, переданный на Государственное сортоиспытание в 2020 г. Стандартом выступал сорт ярового ячменя Омский 95. Для сравнения использовали показатели последнего переданного сорта Омский 101.

Содержание азота в зерне определяли на автоматическом анализаторе «KjeltekAuto 1030 Analyzer», коэффициент пересчета азота на белок для зерна ячменя – 5,7 [8]. Содержание сырого жира определяли в аппарате Сокслета по разности обезжиренного и не обезжиренного остатка. Содержание крахмала в зерне – поляриметрическим методом [9].

Полученные данные математически обработаны корреляционным и дисперсионным двухфакторным методами; оценка достоверности проведена с использованием критерия наименьшей существенной разницы на 5 % уровне значимости [10].

Адаптивность перспективного сорта рассчитана по следующим параметрам:

- индекс стабильности (ИС), показатель гомеостатичности (Ном) и селекционной ценности сорта (Sc) [11].
- показатель относительной стабильности ( $St^2$ ) и критерий стабильности (А) [12].
- фактор стабильности (S.F.) [13].
- генотипический эффект (Ei) [14].
- показатель интенсивности (И) [15].

Сорт Омский 102 проходит государственное сортоиспытание по Уральскому (9), Западно-Сибирскому (10) и Восточно-Сибирскому (11) регионам.

#### Результаты и их обсуждение

Для получения нового селекционного материала широко используют традиционные методы с применением межсортовой гибридизации [16, 17] и с привлечением диких сородичей [18].

Оригинатор сорта ярового ячменя Омский 102 – ФГБНУ «Омский АНЦ». В качестве родительских форм выступали сорта зарубежной и местной селекции с целью передачи гибриднему материалу полезных признаков и свойств (скороспелость, засухоустойчивость, урожайность, повышенное качество зерна и устойчивости к головневым заболеваниям, а также адаптивность).

Для подлинного определения приспособительных реакций сорта необходимо использовать разнообразные математические методы расчета. Вначале используют дисперсионный анализ с целью выявления доли влияния условий и генотипа сорта в формировании урожайности. Выявлена высокая доля влияния эффектов среды на формирование урожайности (Фактор год (А) = 86,4 %) (таблица 1).

**Таблица 1 – Вклад факторов в формирование урожайности ячменя, питомник КСИ**

Источник варьирования	df	SS	MS	Доля вклада факторов, %	F <sub>факт.</sub>	F <sub>05</sub>
Общая	14	23,2	–	–	–	–
Фактор А (год)	4	20,0	5,0	86,4	45,4	3,0
Фактор В (сорт)	2	2,3	1,1	9,8	10,3	3,7
Остаток	8	0,9	0,1	3,8	–	–

**Примечание.** df – число степеней свободы; SS – сумма квадратов; MS – средний квадрат; F<sub>факт.</sub> – критерий Фишера фактический; F<sub>05</sub> – критерий Фишера теоретический при 5%-м уровне значимости.

Корреляционный анализ также показал значительную зависимость формирования продуктивности и качества зерна от климатических факторов. Учитывая обратную сопряженность урожайности и качественных показателей с

суммой положительных температур ( $r = -0,56...-0,89$ ) и с суммой осадков за вегетацию ( $r = -0,30...-0,80$ ), можно сделать вывод о необходимости оптимального соотношения гидротермических показателей для формирования данных показателей.

В среднем за период исследований урожайность исследуемых сортов ячменя составила 5,34 т/га. Наиболее урожайным годом можно считать 2020 г. (+0,15–3,15 т/га по отношению к прочим периодам исследованиям).

Урожайность стандартного сорта Омский 95 составила 4,84 т/га ( $Lim = 2,19–6,04$  т/га) (таблица 2). Новый перспективный сорт Омский 102 превышал стандарт в 2018 и 2020 гг. (+0,58 и +0,66 т/га). В остальные периоды исследований урожайность данного сорта отмечена на уровне стандарта (3,76 и 6,63 т/га). Благодаря этим особенностям Омский 102 характеризовался повышенной урожайностью в среднем за период исследований (0,8 т/га) и по продуктивности относится к высокоурожайным в условиях Западной Сибири.

**Таблица 2 – Характеристика сорта ячменя ярового Омский 102 по урожайности, т/га**

Сорт	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	$\bar{x}$	$\pm k St.$
Омский 95 (St.)	2,19	5,18	5,22	5,60	6,04	4,84	–
Омский 101	3,72	5,28	5,97	6,44	6,36	5,55	+0,71
Омский 102	3,76	5,30	5,80	6,63	6,70	5,64	+0,80
Среднее по сортам	3,22	5,25	5,66	6,22	6,37	5,34	-
НСР <sub>05</sub>	0,52	0,04	0,23	0,32	0,19	-	-

Повышенная урожайность всех исследуемых сортов (6,04–6,70 т/га) в засушливый 2020 г. (при ГТК = 0,54) объясняется особенностью данного периода – выпадение осадков наблюдали в ключевые периоды роста и развития растений. Так, в межфазный период кущение–выход в трубку (третья декада июня) температура воздуха снизилась на 4,1 °С от среднегодовой на фоне обильных осадков (225,3 % к норме). Следующая важная фаза (колошение) проходила в третьей декаде июля при пониженной температуре воздуха (на 1,1 °С ниже нормы), что даже при условии существенного недобора осадков (11,9 % от среднегодовой) не помешало развитию растений. Интенсивному наливу зерна способствовали условия второй декады августа – температура на уровне среднегодовой (16,5 °С), при ливневых осадках (207,5 % от нормы).

В среднем за период исследований содержание белка в зерне сортов ячменя составило 12,3 %, сырого жира – 2,0 % (таблица 3). Сорт Омский 102 по данным показателям находился на уровне стандарта (12,1 и 1,8 % соответственно). Достоверных различий между сортами по данным показателям не выявлено.

**Таблица 3 – Выраженность и изменчивость показателей качества зерна и продуктивности сорта Омский 102 (среднее за 2016–2020 гг.)**

Сорт	Содержание белка, %		Содержание сырого жира, %		Содержание крахмала, %		Масса 1000 зерен, г	
	$\bar{x}$	Lim	$\bar{x}$	Lim	$\bar{x}$	Lim	$\bar{x}$	Lim
Омский 95 (St.)	12,6	11,4-14,2	2,1	1,5-2,6	54,7	53,6-56,8	44,9	43,2-47,6
Омский 101	12,3	10,9-13,9	2,2	1,8-2,6	57,2	55,8-59,9	53,2	51,8-54,7
Омский 102	12,1	11,0-13,2	1,8	1,6-2,0	55,7	53,2-57,5	55,9	54,0-57,0
Среднее по сортам	12,3	-	2,0	-	55,9	-	51,3	-
НСР <sub>05</sub>	1,0	-	0,5	-	1,2	-	3,0	-

По содержанию крахмала в зерне новый сорт Омский 102 превышал стандарт (+1,0 %), но уступал последнему переданному сорту Омский 101 (–1,5 %).

По показателю крупности зерна Омский 102 достоверно превысил стандартный сорт Омский 95 и Омский 101 (+11,0 и +2,3 г соответственно).

Анализ корреляционных связей качества зерна с продуктивностью показал обратную сопряженность показателей качества зерна (содержание в зерне белка, крахмала и сырого жира) как с урожайностью ( $r = -0,408...-0,812$ ), так и с массой 1000 зерен ( $r = -0,489...-0,611$ ). Прямая корреляционная зависимость отмечена между следующими парами признаков: содержания белка в зерне – содержание крахмала ( $r = 0,750$ ); содержание крахмала и масличность зерна ( $r = 0,323$ ).

В среднем за период исследований, сорта ячменя характеризовались сбором белка на уровне 620,6 т/га, крахмала – 2,7 т/га и сырого жира – 101,2 т/га (таблица 4).

Повышенная урожайность сорта Омский 102 способствовала превышению по выходу питательных веществ с единицы площади. Так, в среднем за период исследований, сбор белка нового сорта составил 655,95 кг/га (+98,9 кг/га к стандарту). Сбор сырого жира отмечен на уровне 98,05 кг/га (+7,06 кг/га к стандарту). Также Омский 102 характеризовался повышенным сбором крахмала (3,03 т/га), что достоверно превысило стандарт (+0,6 т/га) и сорт Омский 101 (+0,35 т/га).

**Таблица 4 – Характеристика сорта ячменя ярового Омский 102 по сбору белка, крахмала и сырого жира с единицы площади**

Сорт	Сбор с 1 га					
	белка, кг/га		крахмала, т/га		сырого жира, кг/га	
	$\bar{x}$	Lim	$\bar{x}$	Lim	$\bar{x}$	Lim
Омский 95 (St.)	557,1	521,6-604,9	2,4	2,3-2,6	90,9	87,9-115,4
Омский 101	648,9	560,9-768,2	2,7	2,1-3,1	114,7	91,9-132,5
Омский 102	655,9	609,3-693,3	3,0	2,7-3,4	98,1	92,9-104,3
Среднее по сортам	620,6	-	2,7	-	101,2	-
НСР <sub>05</sub>	30,2	-	0,25	-	6,5	-

Степень стабильности реакции сортов характеризуют три показателя, предложенные Хангильдиным В.В. – индекс стабильности (ИС), показатель гомеостатичности (Ном), селекционная ценность сорта (Sc). Они основаны на сравнении урожайности в лимитированных и оптимальных условиях выращивания.

Наблюдали достоверное превышение сортом Омский 102 по уровню стабильности стандарта (ИС = 26,2; Ном = 8,91; Sc = 17,82). Все показатели находились на уровне сорта Омский 101 (таблица 5).

**Таблица 5 – Параметры адаптивности сортов ячменя, питомник КСИ**

Сорт	ИС	Ном	Sc	St <sup>2</sup>	A	S.F.	εi	И, %
Омский 95 (St.)	15,4	4,01	8,52	0,90	4,60	2,76	-0,50	79,4
Омский 101	27,5	10,11	17,80	0,96	5,43	1,73	0,21	49,0
Омский 102	26,2	8,91	17,82	0,96	5,53	1,78	0,30	52,3
НСР <sub>05</sub>	4,0	2,2	4,2	0,03	0,18	0,41	0,23	10,1

Н. А. Соболев предложил делать расчет стабильности объекта изучения по показателям относительной стабильности признака (St<sup>2</sup>) и критерию стабильности признака (A). При их определении используется среднее значение уровня признака и общая дисперсия. Проведенные исследования выявили, что по данным признакам сорт Омский 102 достоверно превышает стандарт (St<sup>2</sup> = 0,96; A = 5,53) и находится на уровне сорта Омский 101.

Согласно методике D. Lewis сорт Омский 102 находился достоверно ниже стандарта по показателям фактора стабильности (S.F. = 1,78), но на уровне сорта Омский 101.

Отрицательное значение генотипического эффекта ( $E_i$ ) показывает низкую стабильность сорта. Наблюдалось достоверное превышение сортом Омский 102 стандарта по данному показателю ( $E_i = 0,30$ ), что на уровне показателей сорта Омский 101.

Коэффициент интенсивности ( $I$ ) сорта, по мнению А. В. Головченко, это отношение разности величин урожайности, полученной в альтернативных условиях к средней величине в опыте, выраженное в процентах. Согласно полученным результатам, наиболее интенсивен стандартный сорт Омский 95 ( $I = 79,4 \%$ ), полуинтенсивный – сорт Омский 102 ( $I = 52,3 \%$ ), к экстенсивным относится сорт Омский 101 ( $I = 49,0 \%$ ).

Ранжированная оценка сортов по параметрам стабильности и интенсивности с учетом меньшей суммы рангов позволяет утверждать, что наиболее адаптивны сорта Омский 102 ( $\sum$  рангов = 11) и Омский 101 ( $\sum$  рангов = 12) по сравнению со стандартом Омский 95 ( $\sum$  рангов = 23) (рисунок).

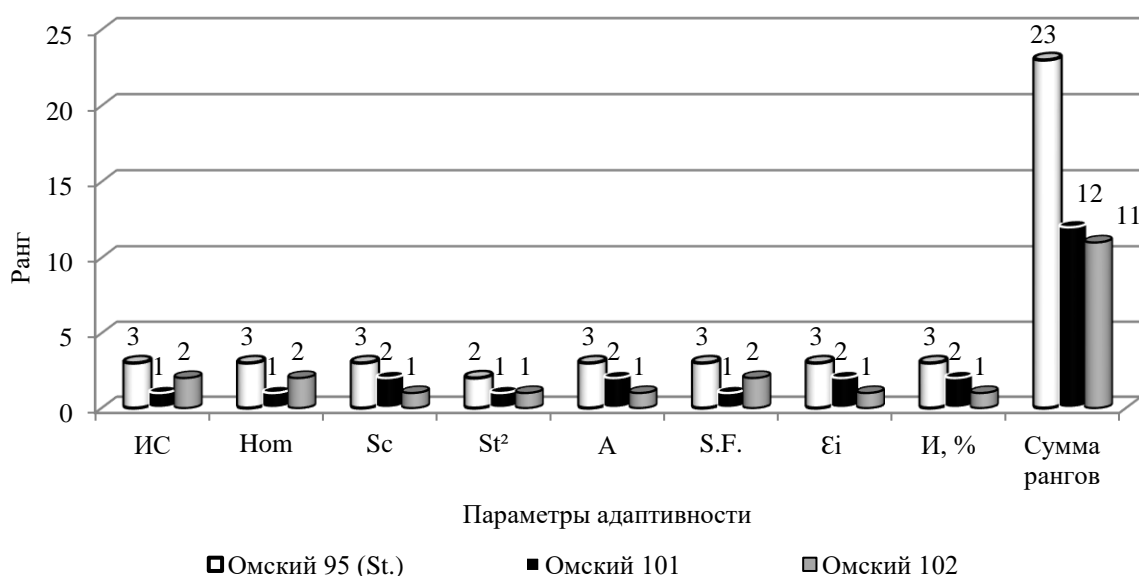


Рисунок – Адаптивность нового сорта ячменя Омский 102 согласно ранговой оценке

### Выводы

Новый перспективный сорт Омский 102 по продуктивности относится к высокоурожайным в условиях Западной Сибири (5,64 т/га; +0,8 т/га к St.). Отмечено превышение по крупности зерна (55,9 г; +11,0 г к St.) в среднем за период исследований.

Зерно сорта Омский 102 характеризуется повышенным содержанием крахмала (55,7; +1,0 % к St.), по содержанию белка и сырого жира (12,1 и 1,8 % соответственно) данный сорт на уровне стандарта.

Повышенная урожайность сорта Омский 102 обеспечивает повышенным сбор белка (655,9 кг/га; +98,9 кг/га к St.), сырого жира (98,1 кг/га; +7,06 кг/га к St.) и крахмала (3,0 т/га; +0,35 т/га к St.).

Сорт Омский 102 адаптивен для условий Западной Сибири (сумма рангов составила 12) благодаря превышению стандарта по следующим параметрам:

– индекс стабильности (ИС = 26,2), показатель гомеостатичности (Ном = 8,91) и селекционная ценность сорта (Sc = 17,82) по Хангильдину В.В.;

- стабильности признака ( $St^2 = 0,96$ ) и критерий стабильности признака ( $A = 5,53$ ) по Н.А. Соболеву;
- фактор стабильности ( $S.F. = 1,78$ ) и генотипический эффект ( $E_i = 0,30$ ) по D. Lewis.

Сорт Омский 102 рекомендовано включать в программы гибридизации в качестве родительской формы как источник повышенной урожайности и качества зерна. Он проходит государственное сортоиспытание по Уральскому (9), Западно-Сибирскому (10) и Восточно-Сибирскому (11) регионам.

### Литература

1. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Агробиологическая характеристика многорядных голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (1). С. 37–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
2. Сурин Н. А., Ляхова Н. Е., Герасимов С. А., Липшин А. Г. Оценка коллекционных образцов ярового ячменя в селекции на продуктивность и качество зерна в условиях Восточной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 41–44. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10510.
3. Абдуллаев Р. А., Яковлева О. В., Косарева И. А., Радченко Е. Е., Баташева Б. А. Скрининг резистентных к мучнистой росе образцов ячменя из Эфиопии по устойчивости к абиотическим стрессорам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 4. С. 152–158. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-152-158.
4. Jarošová J., Singh K., Chrpová J., Kundu J. K. Analysis of small RNAs of barley genotypes associated with resistance to barley yellow dwarf virus // Plants. 2020. Vol. 9. No. 1. P. 60. DOI: 10.3390/plants9010060.
5. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И., Сафонова И. В., Ряполова Я. В. Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101 // Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (2). С. 83–88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88.
6. Abd Elhamid S. E. A. E., Bugaev P. D. Effect of seed treatments on barley germination quality // Bioscience Research. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 4243–4247.
7. Piskareva L. A., Cheverdin A. Yu. Productivity and Quality Indicators of Grain Barley depending on Variety features and Level of Mineral Nutrition // Journal of Agriculture and Environment. 2021. No. 1 (17). DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.8.
8. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М: Колос, 1985. С. 250.
9. Плешков Б. В. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.
10. Методические рекомендации по оценке качества зерна в процессе селекции. Харьков: УкНИИ растениеводства, селекции и генетики, 1982. 56 с.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.
12. Хангильдин В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. 1986. № 2 (60). С. 36–41.
13. Соболев Н. А. Методика оценки экологической стабильности сортов и генотипов // В кн. Проблемы отбора и оценки селекционного материала. Киев: Наукова думка, 1980. С. 100–106.
14. Lewis D. Gene-environment interaction: a relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. Vol. 8. P. 333–356.
15. Методические рекомендации по экологическому сортоиспытанию кукурузы // Подготовил Гурьев Б.П. [и др.]. Харьков: УкНИИ растениеводства, селекции и генетики, 1981. С. 32.
16. Удачин Р. А., Головченко А. П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // Селекция и семеноводство. 1990. № 5. С. 2–6.
17. Максимов Р. А., Киселев Ю. А. Новый сорт кормового ячменя Памяти Чепелева // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 8. С. 51–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10813.
18. Жилин Н. А., Зайцева И. Ю., Щенникова И. Н., Емелев С. А. Сорт 'Биос 1' как исходный материал для селекции ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 2. С. 96–100. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100.

### References

1. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I., Safonova I. V. Agrobiological characteristics of hullless barley cultivars developed at Omsk Agrarian Scientific Center // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. No. 180 (1). P. 38–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.

2. Surin N. A., Lyakhova N. E., Gerasimov S. A., Lipshin A. G. Evaluation of collection samples of spring barley in the breeding on productivity and quality of grain under conditions of Eastern Siberia // Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. No. 5. P. 41–44. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10510.
3. Abdullayev R. A., Yakovleva O. V., Kosareva, I. A., Radchenko E. E., Batashev B. A. Screening of powdery mildew resistant barley accessions from Ethiopia for tolerance to abiotic stressors // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019. Vol. 180. No. 4. P. 152–158. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-152-158.
4. Jarošová J., Singh K., Chrpová J., Kundu J.K. Analysis of small RNAs of barley genotypes associated with resistance to barley yellow dwarf virus // Plants. 2020. Vol. 9. No. 1. P. 60. DOI: 10.3390/plants9010060.
5. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I., Safonova I. V., Ryapolova J. V. New mid-season spring barley cultivar Omsky 101 // Proceedings on applied botany, genetics and breeding 2019. No. 180 (2). P. 83–88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88.
6. Abd Elhamid S.E.A.E., Bugaev P. D. Effect of seed treatments on barley germination quality // Bioscience Research. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 4243–4247.
7. Piskareva L. A., Cheverdin A. Yu. Productivity and quality indicators of grain barley depending on variety features and level of mineral nutrition // Journal of Agriculture and Environment. 2021. No. 1 (17). DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.8.
8. Methodology of the State variety testing of agricultural crops. Iss. 1. General part. Moscow: Kolos, 1985. 250 p.
9. Pleshkov B. V. Workshop on plant biochemistry. Moscow: Agropromizdat, 1985. 255 p.
10. Methodological recommendations for assessing the quality of grain in the selection process. Kharkov: Ukrainian Scientific-Research Institute of Plant Production, Breeding and Genetics, 1982. 56 p.
11. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alyans, 2011. 350 p.
12. Khangildin V. V. Parameters for assessing the homeostaticity of varieties and breeding lines in tests of spike crops // Nauchno-tehnicheskii Byulleten Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta. 1986. No. 2 (60). P. 36–41.
13. Sobolev N. A. Methods for assessing the ecological stability of varieties and genotypes // In book: Problems of Selection and Evaluation of Breeding Material. Kiev: Naukova dumka, 1980. P. 100–106.
14. Lewis D. Gene-environment interaction: a relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. Vol. 8. P. 333–356.
15. Guidelines for ecological testing of corn. // Prepared by Guryev B. P. [et al.]. Kharkov: Ukrainian Scientific-Research Institute of Plant Production, Breeding and Genetics, 1981. P. 32.
16. Udachin R. A., Golovchenko A.P. Methods for assessing the ecological plasticity of wheat varieties // Seleksiya i semenovodstvo. 1990. No. 5. P. 2–6.
17. Maksimov R. A., Kiselev Yu. A. New variety of feed barley ‘Pamyati Chepeleva’ // Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. No. 8. P. 51–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10813.
18. Zhilin N. A., Zaitseva I. Yu., Schennikova I. N., Emelev S. A. Effectiveness of the barley cultivar ‘Bios 1’ as source material for breeding // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181. No. 2. P. 96-100. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100.
19. Hu H., Ahmed I., Choudhury S., Fan Y., Shabala S., Harrison M., Meinke H., Zhou M., Zhang G. Wild barley shows a wider diversity in genes regulating heading date compared with cultivated barley // Euphytica. 2019. Vol. 215. No. 4. P. 75. DOI: 10.1007/s10681-019-2398-1.

UDC 633.16.321.631.526.32:631.529

Nikolaev P. N., Yusova O. A., Safonova I. V., Aniskov N. I.

### **ADAPTABILITY OF A NEW SPRING BARLEY VARIETY ‘OMSKIY 102’ UNDER CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA**

**Summary.** *The creation and distribution of a new generation of spring barley varieties with high and stable productivity are vital because of the significant variability in climatic conditions in Western Siberia. The aim of the current research was to assess the adaptability of a new promising spring barley variety (*Hordeum sativum* J.) ‘Omskiy 102’. The experiments were carried out on the experimental fields of the FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center” (southern forest-steppe, the city of Omsk) in 2016–2020. Varieties were evaluated by the sum of the ranks of several adaptability parameters: stability index (SI), homeostaticity (Hom), breeding value (Sc) by the method of V.V. Khangildin; relative stability index (St<sup>2</sup>), stability criterion (A) according to N. A. Sobolev; stability factor (S.F.)*



and genotypic effect ( $E_i$ ) determined according to D. Lewis; intensity indicator ( $I$ ) calculated according to R.A. Udachin methodology. The subject of the research was a new promising variety 'Omskiy 102'; in 2020, it was passed for State variety testing. The abovementioned variety was compared with 'Omskiy 95' – standard (St.) and 'Omskiy 101' – the last one submitted for State variety testing. 'Omskiy 102' is characterized by higher yield (5.64 t/ha; +0.8 t/ha to St.), 1000 grain weight (55.9 g; +11.0 g to St.), starch content (55.7%; +1.0% to St.). We also noticed an increased collection of protein (655.9 kg/ha; +98.9 kg/ha to St.), crude fat (98.1 kg/ha; +7.06 kg/ha to St.), starch (3.0 t/ha; +0.35 t/ha to St.). According to the ranking (calculated based on the adaptability parameters), variety 'Omskiy 102' is adaptive in the context of Western Siberia conditions (the sum of the ranks – 11). It exceeded the standard in the following parameters: stability index ( $SI=26.2$ ), homeostaticity ( $Hom=8.91$ ) and breeding value ( $Sc=17.82$ ) according to V. V. Khangildin; relative stability index ( $St^2=0.96$ ) and stability criterion ( $A=5.53$ ) according to N. A. Sobolev; stability factor ( $S.F.=1.78$ ) and genotypic effect ( $E_i=0.30$ ) determined according to D. Lewis. Currently, this variety is tested in the State variety trial to be cultivated in the Ural (9), West Siberian (10), East Siberian (11) regions.

**Keywords:** barley (*Hordeum sativum* Jess.), variety, yield, grain quality, adaptability.

Николаев Петр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: nikolaevpetr@mail.ru.

Юсова Оксана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: ksanajusva@rambler.ru.

Сафонова Ирина Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»; 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 42-44; e-mail: i.safonova@vir.nw.ru.

Анисков Николай Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»; 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 42-44.

Nikolaev Petr Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory for the selection of grain crops, FSBSI "Omsk Agrarian Scientific Center"; 26, Korolev ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: nikolaevpetr@mail.ru.

Yusova Oksana Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of genetics, biochemistry and plant physiology, FSBSI "Omsk Agrarian Scientific Center"; 26, Korolev ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: ksanajusva@rambler.ru.

Safonova Irina Vladimirovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the FSBSI "Federal Research Centre N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources" (VIR); 42, Bol'shaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia; e-mail: i.safonova@vir.nw.ru.

Aniskov Nikolay Ivanovich, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher of the FSBSI "Federal Research Centre N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources" (VIR); 42, Bol'shaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia.

Дата поступления в редакцию – 29.09.2020.

Дата принятия к печати – 01.02.2021.

УДК 677.027  
EDN JQBMPS

Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королёва Е. Н., Безбабченко А. В.  
**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНВЕКТИВНОЙ И  
ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ПЕНЬКИ ОДНОТИПНОЙ НЕОРИЕНТИРОВАННОЙ**  
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

***Реферат.** Применяемые сушильные машины для лубяных культур устарели морально и физически. В данной работе представлены результаты исследования перспективного процесса сушки спутанной массы ломаных стеблей технической конопли, основанные на принципе продольной продувки слоя тресты, для разработки инновационной энергосберегающей сушильной машины. Цель работы – научное обоснование параметров и режимов процесса сушки коноплесырья при различных режимах, а именно при разных температурах и скоростях воздуха, а также при разных сочетаниях включения электрокалориферов и инфракрасных электронагревателей. Определено, что при конвективной и конвективно-инфракрасной сушке время процесса при температуре воздуха 65 °С не превышает 3,1 минуты при влажности от 30 % до 14 % и не более 2,3 минуты при влажности от 25 % до 14 %, а при температуре воздуха 80 °С – 2,7 минут и 2,5 минут соответственно. Расход агента сушки в интервале 2800–3100 м<sup>3</sup>/ч при его скорости в камере 5,3–5,8 м/с не оказывает существенного влияния на время конвективной сушки рассматриваемого коноплесырья, а снижение расхода и скорости воздуха до 2200–2500 м<sup>3</sup>/ч и до 4,8 м/с приводит к существенному повышению времени процесса. Построены необходимые графики и регрессионные зависимости. На основании результатов исследований можно сделать следующие выводы: наиболее оптимальными являются режимы, при которых температура агента сушки не менее 65–80 °С, расход воздуха, подаваемого и циркулирующего в сушильной камере, не менее 3100 м<sup>3</sup>/ч (не более 5000 м<sup>3</sup>/ч), средняя скорость не менее 6 м/с (но не более 9–10 м/с). Температура агента сушки не менее 85 °С рекомендуется при высокой начальной влажности тресты 25–30 %, температура 65 °С – при влажности тресты 25 %.*

***Ключевые слова:** конопля техническая, агент сушки, время сушки, расход и скорость воздуха, параметры и режимы работы, конвективная и конвективно-инфракрасная сушка.*

***Для цитирования:** Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королёва Е. Н., Безбабченко А. В. Обоснование параметров и режимов работы конвективной и инфракрасной сушки технической конопли для производства пеньки одноптипной неориентированной // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 112–122. EDN: JQBMPS.*

***For citation:** Novikov E. V., Altukhova I. N., Koroleva E. N., Bezbabchenko A. V. Justification of parameters and operating modes of convective and infrared drying of technical hemp for the production of undifferentiated non-oriented hemp fiber // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 112–122. EDN: JQBMPS.*

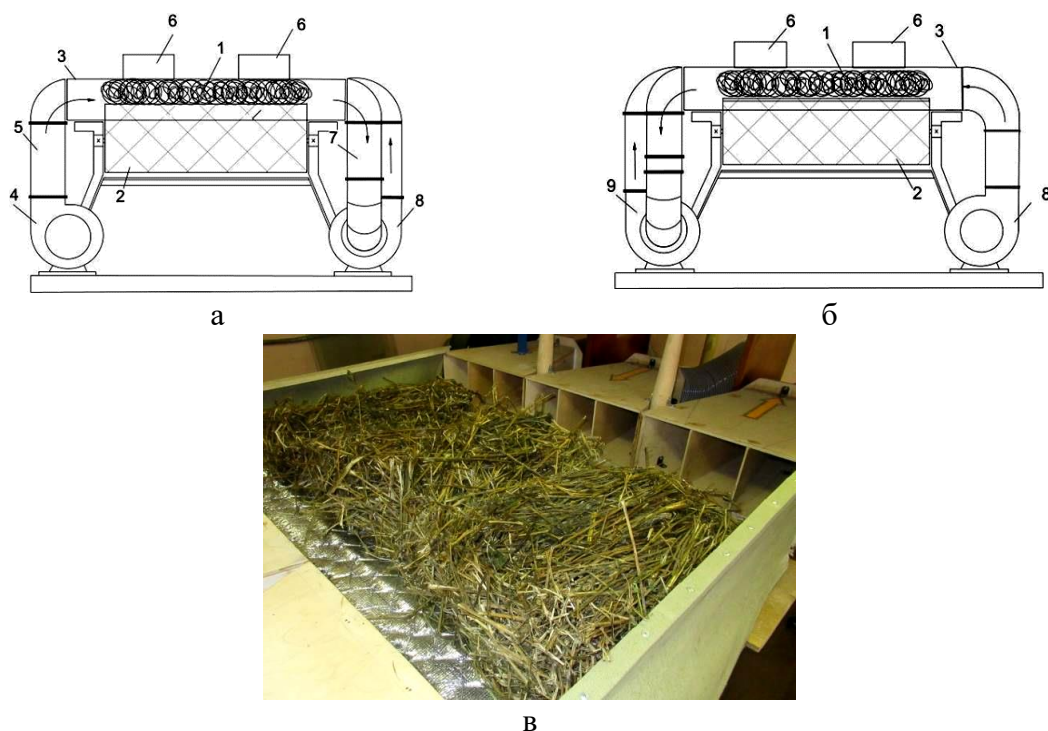
### **Введение**

Качественная первичная переработка спутанной массы ломаных стеблей технической конопли (далее тресты конопляной) является актуальной, так как эту культуру стратегического направления выращивают во многих странах мира [1–6].

Она является сырьем для производства многих современных продуктов потребления, используется в косметологии, медицине, строительстве, легкой, пищевой, военной промышленности [7–12].

Проведенные нами в 2018–2020 гг. исследования показали, что часто первичная переработка указанного коноплесырья в пеньку одностипную проходит при повышенной влажности, а значит, необходима её сушка до технологической влажности 12–15 %, которую обычно проводят в сушильных машинах непосредственно перед линией первичной переработки.

Ранее применяли сушильные машины для технической конопли в виде целых не ломаных (неразрушенных) стеблей марки СКП-8-12П [13]. Однако в настоящее время эта марка не является перспективной и на пенькозаводах не применяется из-за большого потребления насыщенного пара и электрической энергии. Кроме того, она металлоемкая, поэтому ее сняли с производства. Другие сушильные машины для тресты конопляной не разработаны, также отсутствуют исследования в этом направлении, что определяет актуальность исследований в этой области [14]. Необходима разработка подобной сушильной машины, но не по типу СКП-8-12П, а с помощью энергосберегающих технологий. В частности, такой технологией является сушка лубяных культур при продольной продувке тресты льна-долгунца и масличного льна (продувка слоя вдоль стеблей, лежащего горизонтально на транспортере) [15–28], которая реализована в энергосберегающей сушильной машине для льнотресты марки МС-1, работающей по конвективному способу (рисунок 1 [25–28]).



**Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема сушильной машины МС-1**

*Примечание.* а – вид камеры сушки при продувке коноплесырья в правую сторону; б – вид камеры сушки при продувке коноплесырья в левую сторону; в – общий вид исследуемого коноплесырья в сушильной камере экспериментальной установки: 1 – слой из спутанных ломаных стеблей коноплесырья; 2 – транспортер; 3 – отдельные сушильные секции; 4, 8, 9 – вентиляторы; 5, 7 – воздухопроводы; 6 – ИК-нагреватели.

В работе [26] начаты исследования процесса сушки спутанной массы ломаных стеблей технической конопли, однако остался открытым вопрос о влиянии температуры агента сушки на удаление влаги из тресты.

**Цель исследований** – опытно-экспериментальное обоснование параметров и режимов процесса сушки коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей по схеме продольной продувки слоя.

Для достижения поставленной цели необходимо провести эксперименты по изучению сушки указанного коноплесырья (тресты конопляной) при различных режимах, определить рациональные параметры и режимы сушки, которые необходимо использовать для разработки соответствующей сушильной машины.

Представленные ниже результаты являются продолжением цикла исследований 2016–2021 гг. конвективно-инфракрасного способа сушки лубяных культур при продольной их продувке, которые уже проведены на тресте льна-долгунца и льна масличного, поэтому описанная ниже методика экспериментов существенно не отличается от ранее представленных в [15–28] исследований с льном масличным и долгунцом.

#### Материалы и методы исследований

Для экспериментов взята стеблевая масса коноплесырья с характеристиками, представленными в таблице 1.

**Таблица 1 – Показатели качества тресты конопляной (коноплесырья) в виде спутанной массы ломаных стеблей**

Показатель		Значение
Длина ломаных спутанных стеблей, мм:	средняя	150
	минимальная	24
	максимальная	485
Диаметр ломаных спутанных стеблей, мм:	средний	3,4
	минимальный	2,5
	максимальный	5,5
Отделяемость волокна от древесины, ед.		4,6
Содержание волокна в массе, %		30
Разрывная нагрузка волокна в массе, кгс	средняя	9,3
	минимальная	4,5
	максимальная	22,0

Исследования проводили на экспериментальной установке [20], в сушильную камеру которой укладывали коноплесырье с плотностью 3 кг/м<sup>2</sup> (см. рисунок 1). Высота увлажненного коноплесырья, уложенного в сушильную камеру, составляла 210–240 мм, что больше высоты тресты льна-долгунца: 80–90 мм в вершинах и 170–180 мм в комлях и высоты слоя льна масличного – 170–180 мм. Далее эксперимент проводили аналогично методике, представленной в работе [25].

В ходе работы применяли конвективную и конвективно-инфракрасную сушку. Параметры агента сушки: температура  $t_l = 65$  °С и 80 °С, скорость при входе в камеру 4,3–5,8 м/с с шагом 0,5 м/с (4 режима), его расход 2200–3100 м<sup>3</sup>/ч с шагом 300 м<sup>3</sup>/ч (4 режима). Конвективно-инфракрасная сушка отличалась от конвективной дополнительным применением двух ИК-нагревателей тепловой мощностью по 1 кВт каждый.

Относительная гарантийная ошибка не превышала 10 % при десятикратной повторности, что обеспечивало достоверность опытов.

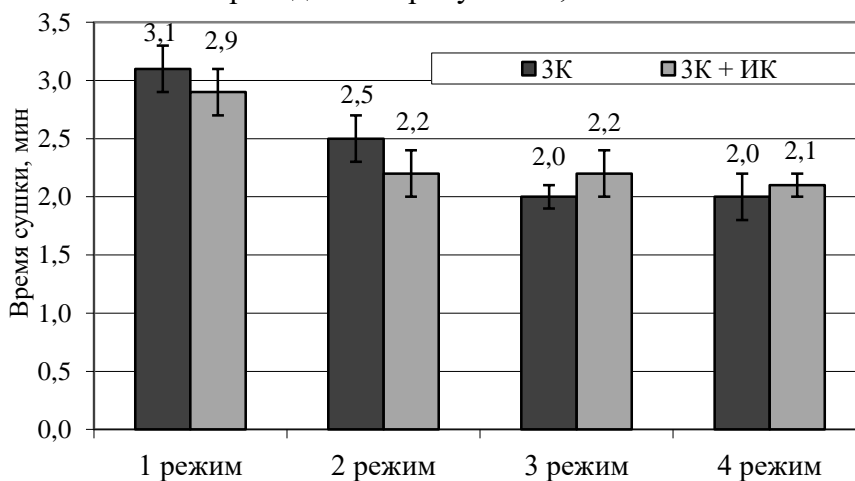
Повторность опытов в каждом режиме сушки десятикратная, показатели которых усредняли, вычерчивали отдельные и усредненные кривые сушки, по которым определяли время сушки коноплесырья. Кроме этого, для построения доверительных интервалов рассчитывали абсолютную гарантийную ошибку (таблицу 2).

**Таблица 2 – Результаты статистической обработки продолжительности сушки**

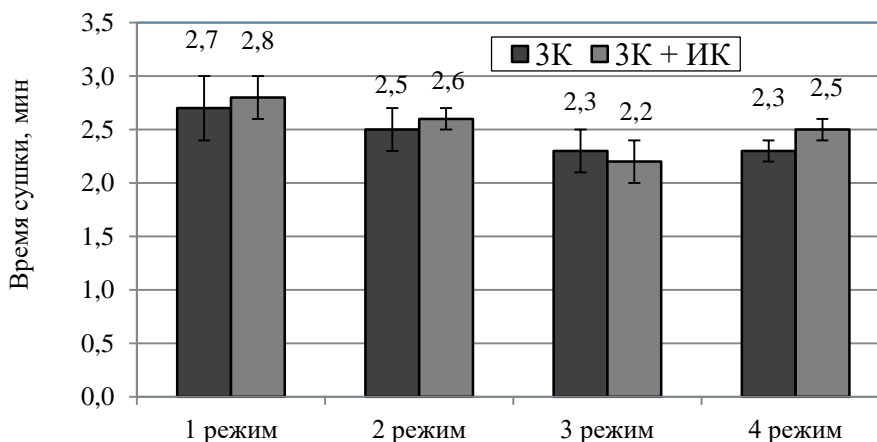
Режим	Конвективная сушка			Конвективно-инфракрасная сушка		
	среднее значение, мин	абсолютная ошибка, мин	относительная ошибка, %	среднее значение, мин	абсолютная ошибка, мин	относительная ошибка, %
при $t_l = 65^\circ\text{C}$						
1	3,1	0,2	5,6	2,9	0,2	7,2
2	2,5	0,2	7,5	2,2	0,2	7,0
3	2,0	0,1	2,4	2,2	0,2	7,0
4	2,0	0,2	8,1	2,1	0,1	6,1
при $t_l = 80^\circ\text{C}$						
1	2,7	0,3	9,5	2,8	0,2	8,5
2	2,5	0,2	6,4	2,6	0,1	5,7
3	2,3	0,2	9,7	2,2	0,2	8,2
4	2,3	0,1	5,3	2,5	0,1	4,9

**Результаты и их обсуждение**

Результаты опытов приведены на рисунках 2, 3.



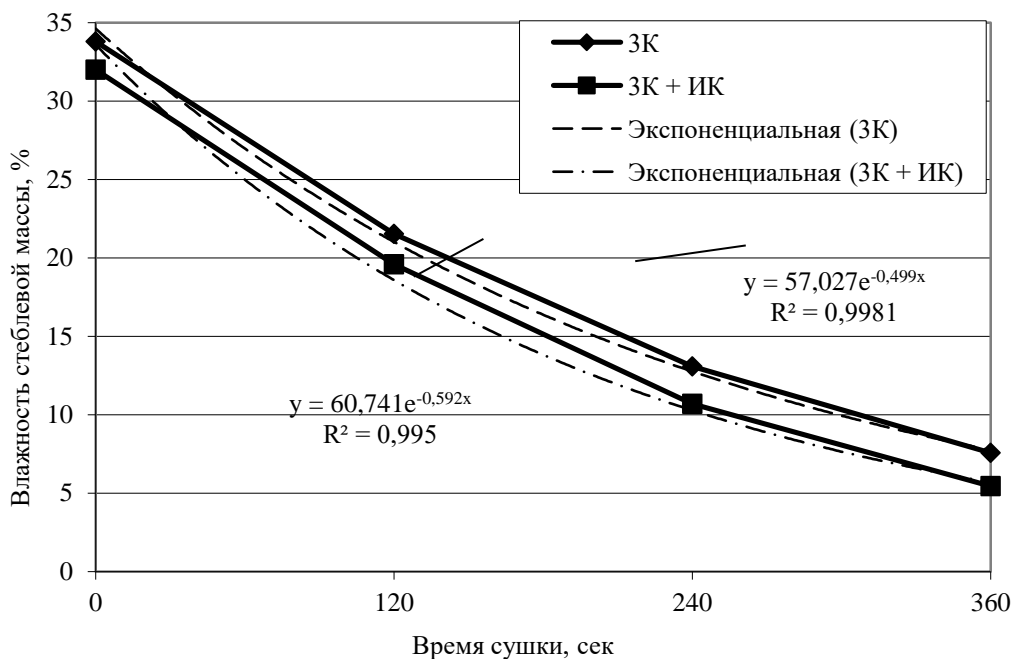
а



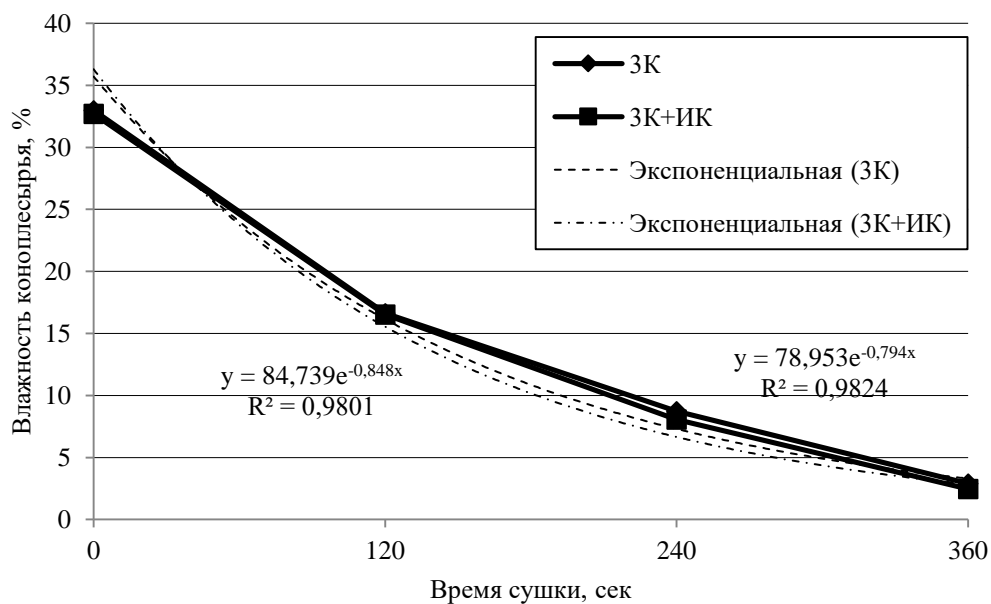
б

**Рисунок 2 – Время сушки коноплесырья от 30 % до 14 %**

Примечание. а – при  $t_l = 65^\circ\text{C}$ ; б – при  $t_l = 80^\circ\text{C}$



а



б

Примечание. а – при  $t_1 = 65\text{ }^\circ\text{C}$ ; б – при  $t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$

**Рисунок 3 – Типовые кривые сушки коноплесья**

Результаты опытных сушек показали, что:

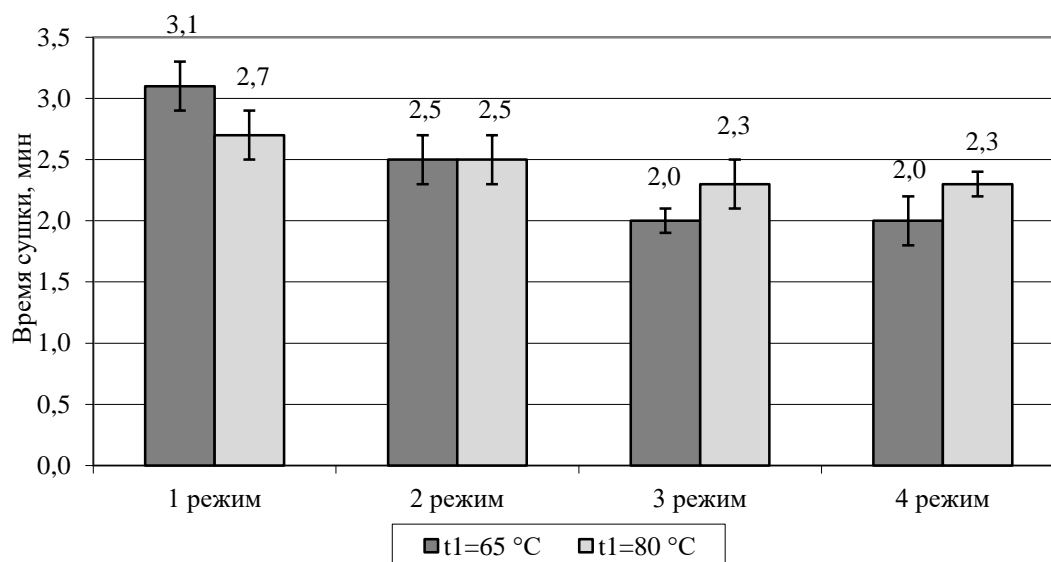
– время сушки, также, как и при конвективной и конвективно-инфракрасной сушке конопли не превышает 3,1 минуты при  $t_1 = 65\text{ }^\circ\text{C}$  и влажности от 30 % до 14 % (см. рисунок 2а) и не более 2,3 минуты – от 25 % до 14 % (на рисунках не представлено), при  $t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$  – не более 2,7 минуты – от 30 % до 14 % (см. рисунок 2б) и не более 2,5 минут – от 25 % до 14 % (на рисунках не представлено), что в сравнении с  $t_1 = 65\text{ }^\circ\text{C}$  меньше на 0,4–0,2 минуты;

– расход агента сушки от 2800 до 3100 м<sup>3</sup>/ч при скорости 5,3–5,8 м/с не влияет на время конвективной сушки рассматриваемого коноплесырья (см. рисунки 2а и 2б), а снижение расхода и скорости воздуха до 2200–2500 м<sup>3</sup>/ч и до 4,8 м/с соответственно приводит к существенному повышению времени процесса, поэтому для удаления влаги из коноплесырья данной структуры нужно применять режимы продувки 3 и 4 (таблица 2);

– ИК-нагреватели исследуемой тепловой мощности не влияют на время подсушки (см. рисунки 2а и 2б), а значит, если интенсифицировать процесс сушки, например, из-за повышенной влажности коноплесырья необходимо применять ИК-нагреватели большей мощности;

– влага из коноплесырья начинает удаляться сразу же на первых секундах сушки (рисунки 3а и 3б), то есть период прогрева отсутствует;

Рисунок 4 показывает, что на тресте конопляной исследуемой структуры повышение температуры агента сушки с 65 °С до 80 °С в каждом отдельно взятом режиме сушки не повлияло на продолжительность процесса, что следует из доверительных интервалов, которые пересекаются.



**Рисунок 4 – Время сушки коноплесырья при различной начальной температуре агента сушки и условия ЗК (влажность от 30 % до 14 %)**

Следует заключить, что на продолжительность процесса оказывает влияние режим сушки – расход и средняя скорость агента сушки (рисунок 4). При  $t_1 = 65$  °С режим сушки существенно влияет на продолжительность процесса.

По результатам исследований получены обобщающие аппроксимационные модели изменения влажности коноплесырья в зависимости от времени сушки для исследуемых режимов.

Первая имеет следующий вид:

$$W = 72,24e^{-0,711\tau}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – время подсушки, мин.

Модель (1) следует использовать при  $t_1 = 62–65$  °С, его расхода 2200–3100 м<sup>3</sup>/ч и скорости 4–6 м/с.

Аналогичная зависимости (1) модель, но для  $t_1 = 77-81$  °С при других неизменных значениях параметров воздуха имеет следующий вид:

$$W = 70,93e^{-0,695\tau}, \quad (2)$$

где  $W$  – влажность коноплесырья (тресты конопляной) до сушки, %;  
 $\tau$  – время сушки, мин.

Обобщающая регрессионная зависимость, полученная на большом количестве опытов, при обработке в системе STATISTICA-6.0 имеет следующий вид:

$$\tau = 0,49 + 0,117W - 0,00076V + 0,0058t_1, \quad (3)$$

где  $\tau$  – время сушки, мин;

$W$  – начальная влажность коноплесырья (тресты конопляной), %,  $W=25-30$  %;

$V$  – расход агента сушки, м<sup>3</sup>/ч;

$t_1$  – температура агента сушки, °С.

Модель (3) справедлива для: начальной влажности коноплесырья  $W=25-30$  %, до конечной влажности 14 %; расхода агента сушки 2200–3100 м<sup>3</sup>/ч;  $t_1 = 64-81$  °С; скорости агента сушки от 4 до 6 м/с.

Коэффициент детерминации модели (3) составляет 0,84, что говорит о достаточной ее точности ходу рассматриваемого процесса сушки коноплесырья новой структуры.

В отличие от сушильной машины МС-1 [17, 18], разработанной ранее для льнотресты льна-долгунца и льна масличного, предполагаемая сушильная машина должна иметь основное отличие, высоту сушильной камеры 260 мм, а не 220 мм как было ранее.

### Выводы

Получены математические модели процесса сушки спутанной массы ломаных стеблей тресты конопляной для перспективной сушильной машины, используя которые можно прогнозировать время сушки в зависимости от ее исходной начальной влажности, температуры и расхода агента сушки. Рекомендуются следующие режимы сушки тресты конопляной в сушильной машине: температура агента сушки не менее 65–80 °С, его расход, подаваемый и циркулирующий в сушильной камере, не менее 3100 м<sup>3</sup>/ч (не более 5000 м<sup>3</sup>/ч), средняя скорость не менее 6 м/с (но не более 9–10 м/с). Температура агента сушки не менее 85 °С рекомендуется при высокой начальной влажности льнотресты 25–30 %, температура 65 °С – при влажности тресты 25 %. Полученные данные следует использовать при разработке технического задания на проектирование опытного образца сушильной машины для тресты конопляной в линиях первичной переработки.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания FGSS-2022-0007 ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур».*

### Литература

1. Пучков Е. М., Великанова И. В., Галкин А. В. Научно-технологическое и экономическое обоснование формирования системы машин для переработки льна // Аграрная наука. 2021. № 3. С. 101–104. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-346-3-101-104.
2. Грабовска Л., Пневска И. Перспективы выращивания промышленной конопли и применения конопляного сырья в ЕС и Польше // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства». Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. С. 17–22.
3. Морыганов А. П. Отечественное целлюлозное волокно – перспективное сырье для российской текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4 (376). С. 44–49.



4. Пасічник П. К. Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства». Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. С. 3–17.
5. Примаков О. А. Дослідна станція луб'яних культур Інституту сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук України // Наукові нотатки. 2012. № 39. С. 163–167.
6. Immonen K., Lahtinen P., Isokangas P., Torvinen K. Potential of hemp in thermoplastic biocomposites – the effect of fibre structure // In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 1–11. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1\_1.
7. Placet V., François C., Day A., Beaugrand J., Ouagne P. Industrial hemp transformation for composite applications: influence of processing parameters on the fibre properties // In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 13-25. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1\_2.
8. Абдувохидов А., Кароматов И. Д., Хамроева А. Х. Перспективное лечебное растение конопля // Биология и интегративная медицина. 2016. № 6. С. 243–256.
9. Сакович Г. В., Будаева В. В., Корчагина А. А., Гисматулина Ю. А. Перспективы нитратов целлюлозы из нетрадиционного сырья для взрывчатых составов // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 259–268. DOI: 10.14258/jcrpm.2019014336.
10. Попов Р. А. Инновационные разработки и современные технические средства для уборки конопли посевной // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 150–163. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-150-163.
11. Щеглов Д. П., Шкретгий Т. А., Катаев Г. А., Ким С. В. Техническая конопля в качестве заполнителя для бетона // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 11(113). С. 88–90.
12. Лиходеевский А. В. К вопросу о возрождении незаслуженно забытых технологий: техническая конопля // Теория и практика мировой науки. 2021. № 3. С. 29–38.
13. Суметов В. А. Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов. Учебник для вузов. М.: Легкая индустрия, 1980. 336 с.
14. Грасмик К. И., Дусь Ю. П. Инновации в легкой промышленности: влияние экономического кризиса // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 4 (382). С. 5–9.
15. Алтухова И. Н., Новиков Э. В., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Обоснование режимов работы энергосберегающей сушильной машины для льнотресты в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2019. Вып. 3 (179). С. 74–78. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-3-179-74-78.
16. Алтухова И. Н., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Экспериментальное обоснование режимов работы при конвективно-инфракрасной сушке тресты // Вестник УГСХА. 2019. Вып. 3(47). С. 6–11. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-6-11.
17. Носов А. Г., Киселев Н. В. Исследование массообмена при сушке льняной тресты высокой плотности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 6(354). С. 51–53.
18. Носов А. Г., Щербаков Д. С. О повышении эффективности процесса сушки льняной тресты в рулонах на машине СМР-3М2 // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 5(353). С. 28–32.
19. Киселев Н. В., Пашин Е. Л., Шаланина А. И. Моделирование процесса сушки льнотресты в машине СКП1-10ЛУ с учетом влияния неровноты слоя стеблей по толщине и ширине // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 75–78.
20. Васильев Ю. В., Киселев Н. В., Смирнов А. М. Оценка технологической эффективности нового способа термовлажностной подготовки льняной тресты // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 5(334). С. 21–24.
21. Безбабченко А. В., Новиков Э. В., Шевалдин Д. М., Коновалов В. В. Экспериментальная установка для изучения конвективной и инфракрасной сушки льносырья // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур». Тверь: Тверской государственный университет. 2016. С. 270–278.
22. Васильев Ю. В. Разработка энергосберегающей машины и способа термовлажностной подготовки тресты льна к механической обработке // Материалы научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВНИИ льна. Тверь: ВНИИЛ, 2010. С. 365–367.
23. Васильев Ю. В. Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты. Автореф. дисс. к.т.н. Кострома: ФГБОУ «Костромской государственный технологический университет», 2013. 16 с.
24. Шушков Р. А., Трушанин А. С., Булатов А. М. Моделирование процесса сушки льнотресты и обоснование рациональных режимов работы перспективной сушильной машины // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 4(61). С. 172–180. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14172.

25. Алтухова И. Н., Новиков Э. В., Королева Е. Н., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Обоснование параметров конвективно-инфракрасного способа подсушки льна масличного // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 2 (69). С. 19–28. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_2\_19.
26. Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королева Е. Н., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Обоснование режимов работы конвективно-инфракрасной подсушки технической конопли // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 104–109. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp104-109.
27. Носов А. Г., Киселев Н. В. Определение проницаемости льняной тресты высокой плотности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 5 (353). С. 36–39.
28. Носов А. Г., Киселев Н. В. Об использовании рециркуляции воздуха при сушке льняной тресты в рулонах // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 3(345). С. 36–39.

## References

1. Puchkov E. M., Velikanova I. V., Galkin A. V. Scientific, technological and economic justification of the machine system formation for flax processing // Agrarian science. 2021. No. 3. P. 101–104. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-346-3-101-104.
2. Grabovska L., Pnevskia I. Prospects for the cultivation of industrial hemp and the use of hemp raw materials in the EU and Poland // Materials of the International scientific-practical conference “Problems and Prospects of Flax and Hemp Growing Branches Development” Sumy: TD “Papyrus OOO” (Limited Liability Company). 2011. P.17–22.
3. Moryganov A. P. Domestic cellulose fibres – perspective raw material for the Russian textile industry // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2017. No. 4 (376). P. 44–49.
4. Pasichnyk P. K. Problems and prospects of flax and hemp growing development // Materials of the International scientific-practical conference “Problems and Prospects of Flax and Hemp Growing Branches Development” Sumy: TD “Papyrus OOO” (Limited Liability Company). 2011. P. 3–17.
5. Prymakov O. A. Research station of bast crops of the Institute of Agriculture of the Northeast of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine // Naukovi Notatky. 2012. No. 39. P. 163–167.
6. Immonen K., Lahtinen P., Isokangas P., Torvinen K. Potential of hemp in thermoplastic biocomposites – the effect of fibre structure// In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 1-11. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1\_1.
7. Placet V., François C., Day A., Beaugrand J., Ouagne P. Industrial hemp transformation for composite applications: influence of processing parameters on the fibre properties // In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 13–25. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1\_2.
8. Abduvokhidov A., Karamatov I. D., Khamroeva A. H. Perspective medicinal plant hemp // Biology and Integrative Medicine. 2016. No. 6. P. 243–256.
9. Sakovich G. V., Budaeva V. V., Korchagina A. A., Khismatullina Yu. A. Prospects of cellulose nitrates from unconventional feedstocks for use in composite raw explosives // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of Plant Raw Materials). 2019. No. 1. P. 259–268. DOI: 10.14258/jcprm.2019014336.
10. Popov R. A. Innovative developments and modern technical means for seed hemp harvesting // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 1(25). P. 150–163. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-150-163.
11. Shcheglov D. P., Shkrebtiy T. A., Kataev G. A., Kim S. V. Technical hemp as a filler for concrete // Science and Business: Development Ways. 2020. No. 11(113). P. 88–90.
12. Likhodeevsky A. V. On the question of the revival of undeservedly forgotten technologies: technical hemp // Theory and Practice of World Science. 2021. No. 3. P. 29–38.
13. Sumetov V. A. Drying and moistening of bast fiber materials. Textbook for universities. Moscow: Legkaya industriya, 1980. 336 p.
14. Grasmik K. I., Dus Yu. P. Light industry innovation: the impact of the economic crisis // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2013. No. 4 (382). P. 5–9.
15. Altukhova I. N., Novikov E. V., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. Reasoning of the operating modes of energy saving dryer for flax straw in convection and infrared flux of heat transfer fluid // Oil Crops. 2019. Vol. 3 (179). P. 74–78. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-3-179-74-78.
16. Altukhova I. N., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. Experimental substantiation of operating modes of convective infrared drying of flax straw // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2019. Vol. 3(47). P. 6–11. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-6-11.
17. Nosov A. G., Kiselev N. V. The studies of mass exchange in the drying process of flax stock layer with high density // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2014. No. 6(354). P. 51–53.
18. Nosov A. G., Shcherbakov D. S. About increase of efficiency of linen stalks rolls drying process in machine SLR-3M2 // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2014. No. 5(353). P. 28–32.

19. Kiselev N. V., Pashin E. L., Shalagina A. I. Modeling of the drying process of flax stock with irregular thickness and width of the layer on SKP1-10LU drying machine // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2016. No. 6 (366). P. 75–78.
20. Vasiliev Yu. V., Kiselev N. V., Smirnov A. M. Evaluation of the technological effectiveness of a new method of thermal and moisture preparation of flax straw // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2011. № 5(334). P. 21–24.
21. Bezbabchenko A. V., Novikov E. V., Shevaldin D. M., Konovalov V. V. Experimental machine for studying convective and infrared drying of flax raw materials // Materials of the International Scientific and Practical Conference “Innovative developments in the production and processing of bast crops”. Tver: Tver State University. 2016. P. 270–278.
22. Vasiliev Yu. V. Development of an energy-saving machine and a method of thermal and moisture preparation of flax straw for mechanical processing // Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 80<sup>th</sup> anniversary of the Flax Research Institute (VNIL). Tver: VNIL, 2010. P. 365–367.
23. Vasiliev Yu. V. Improvement of technology and equipment for drying linen straw. Authors' abstract ... Cand. (Tech.) Sc. Kostroma: FSBEI “Kostroma State Technological University”, 2013. 16 p.
24. Shushkov R. A., Trushanin A. S., Bulatov A. M. Modeling of the drying process of flax straw and justification of rational operating modes of a perspective dryer // Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2020. No. 4 (61). P. 172–180. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14172.
25. Altukhova I. N., Novikov E. V., Koroleva E. N., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. Justification of the parameters of the convective infrared method of predrying of crown flax stalks // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2021. Vol. 14. No. 2 (69). P. 19–28. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_2\_19.
26. Novikov E. V., Altukhova I. N., Koroleva E. N., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. S. Justification of operating modes of convective-infrared drying of technical hemp // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 8. P. 104–109. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp104-109.
27. Nosov A. G., Kiselev N. V. Research of the flax stalks permeability at high density // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2014. No. 5 (353). P. 36–39.
28. Nosov A. G., Kiselev N. V. About the recirculation of hot air in the drying process of flax stock rolls // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2013. No. 3(345). P. 36–39.

UDC 677.027

Novikov E. V., Altukhova I. N., Koroleva E. N., Bezbabchenko A. V.

**JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODES OF  
CONVECTIVE AND INFRARED DRYING OF TECHNICAL HEMP FOR THE  
PRODUCTION OF UNDIFFERENTIATED NON-ORIENTED HEMP FIBER**

*Summary. Machines, which are used today for drying bast crops, are both morally and physically obsolete. This paper presents the results of a study of a promising process of drying the tangled mass of broken stems of technical hemp based on the principle of longitudinal purging of hemp straw layer to develop an innovative energy-saving drying machine. The aim of the work is the scientific substantiation of the parameters and modes of hemp raw materials drying process under different conditions, namely at different temperatures and air speeds, as well as at various combinations of switching electric air heaters and infrared electric heaters on. The research conducted specified that the time of convective/convective-infrared drying at an air temperature of 65 °C did not exceed 3.1 (raw material moisture content – from 30 % to 14 %) or 2.3 minutes (raw material moisture content – from 25 % to 14 %); at 80 °C – 2.7 and 2.5 minutes, respectively. The consumption of the drying agent in the range of 2,800–3,100 m<sup>3</sup>/h at 5.3–5.8 m/s in the chamber does not significantly affect the time of convective drying of the studied hemp materials. A decrease in the flow rate and air velocity up to 2,200–2,500 m<sup>3</sup>/h and 4.8 m/s significantly lengthens the drying process time. The necessary graphs and regression dependencies are constructed. Based on the research results, the following modes are optimal: temperature of the drying agent is not less than 65–80 °C; air flow rate supplied and circulating in the drying chamber is not less than 3,100 m<sup>3</sup>/h (not more than*

5,000 m<sup>3</sup>/h); average speed is not less than 6 m/s (but not more than 9–10 m/s). When initial hemp straw moisture content is high (25–30 %), we recommend keeping the temperature of the drying agent at the level of 85 °C; when hemp straw moisture content is 25 % – at the level of 65 °C.

**Keywords:** technical hemp, drying agent, drying time, air flow and velocity, parameters and operating modes, convective and convective-infrared drying.

Новиков Эдуард Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: edik1@kmtn.ru.

Алтухова Ирина Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: i.altuhova@fncl.ru.

Королева Евгения Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: e.koroleva@fncl.ru.

Безбабченко Александр Владиславович, старший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: a.bezbabchenko@fncl.ru.

Novikov Eduard Valeryevich, Cand. Sc. (Tech.), head of the Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: edik1@kmtn.ru.

Altukhova Irina Nikolaevna, senior researcher, Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: i.altuhova@fncl.ru.

Koroleva Evgeniya Nikolaevna, senior researcher, Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: e.koroleva@fncl.ru.

Bezbabchenko Aleksandr Vladislavovich, senior researcher, Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: a.bezbabchenko@fncl.ru.

*Дата поступления в редакцию – 27.01.2022.*

*Дата принятия к печати – 14.02.2022.*

УДК 631.31  
EDN LABQVM

Пархоменко Г. Г.<sup>1</sup>, Божко И. В.<sup>1</sup>, Камбулов С. И.<sup>1,2</sup>, Пахомов В. И.<sup>1,2</sup>  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

**Реферат.** *Инновационные рабочие органы предназначены для послойной безотвальной обработки почвы в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения на полях, подверженных совместному воздействию водной и ветровой эрозии. Они содержат единую криволинейную стойку типа paraplow с глубокорыхлителем в виде долота и в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемой среды и засорённости поля оснащаются плоскорезным или криволинейным рыхлителем, а также полимерным материалом (сверхвысокомолекулярным полиэтиленом низкой плотности). Цель исследований – определение качественных показателей технологического процесса послойной безотвальной обработки почвы инновационными рабочими органами и их соответствие агротехническим требованиям. Исследования проведены в отделе механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» в 2019–2021 гг. Сравнительную оценку качественных показателей выполняли для трёх вариантов подсистемы системы «рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы» (плоскорез, полимерный плоскорез, криволинейный рыхлитель). Отдельной задачей было определение качественных показателей подсистемы для глубокой обработки почвы (долото с рыхлителями). При мелкой (глубокой) обработке почвы стандартное отклонение глубины  $\pm 1,4\text{--}1,6$  см ( $\pm 3,5$  см) не превышает допустимого  $\pm 2,0$  см ( $\pm 3,5$  см). При мелкой обработке почвы преобладают комки размером до 25 мм (84,6–95,0 %) при требуемой величине этого показателя не менее 80 %. При глубокой обработке почвы преобладают комки размером менее 50 мм (69,6 %) при требуемом значении не менее 50 %. При мелкой обработке почвы высота гребней и глубина борозд составила 2,9–3,6 см, что не превышает нормативное значение 4 см; при глубокой – 4,3 см при допустимом значении 5 см. Обеспечивается сохранение стерни при мелкой (глубокой) обработке почвы на 89–107 % (74 %) при допустимом не менее 70 % (60 %). Инновационные рабочие органы приводят к снижению количества частиц (размером менее 1 мм) в верхнем слое почвы (0–5 см) на 8,4–9,6 %.*

**Ключевые слова:** почва, послойное рыхление, неустойчивое увлажнение, рабочий орган, агротехнические требования, качественные показатели.

**Для цитирования:** Пархоменко Г. Г., Божко И. В., Камбулов С. И., Пахомов В. И. Определение качественных показателей рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 123–132. EDN: LABQVM.

**For citation:** Parkhomenko G. G., Bozhko I. V., Kambulov S. I., Pakhomov V. I. Qualitative indicators of working bodies for layer-by-layer non-moldboard tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 123–132. EDN: LABQVM.

### Введение

Послойная безотвальная обработка почвы представляет собой процесс дифференциации пласта без оборота на слои с различной структурой с целью накопления и сбережения влаги в условиях недостаточного увлажнения.

Всякая система обработки почвы должна предусматривать предотвращение

эрозионных процессов [1–4], снижение уплотнения пласта [5, 6], уменьшение непродуктивных потерь влаги, тем самым способствуя улучшению питания и развития корневой системы растений [7–10] на основании научно обоснованных рекомендаций [11–15].

Инновационные рабочие органы предназначены для послойной безотвальной обработки почвы в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения на полях, подверженных совместному воздействию водной и ветровой эрозии.

Инновационные рабочие органы содержат единую криволинейную стойку типа paraplow с глубокорыхлителем в виде долота и оснащаются в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемой среды и засорённости поля плоскорезным или криволинейным рыхлителем, а также полимерным материалом (сверхвысокомолекулярным полиэтиленом низкой плотности).

**Цель исследований** – определение качественных показателей технологического процесса послойной безотвальной обработки почвы инновационными рабочими органами и их соответствие агротехническим требованиям.

### Материалы и методы исследований

Исследования проведены в отделе механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» в 2019–2021 гг. Объект исследования: технологический процесс послойной безотвальной обработки почвы. Предмет исследования: взаимосвязь конструктивных параметров и режимов функционирования рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы с качественными показателями технологического процесса.

Требования к обрабатываемой среде, методика определения и нормативные значения агротехнических показателей технологического процесса устанавливали в соответствии с СТО АИСТ 4.6-2018, ГОСТ 33736-2016, ГОСТ 33687-2015.

Сравнительную оценку качественных показателей производили для трёх вариантов подсистемы системы «рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы» (плоскорезный, полимерный плоскорезный, криволинейный рыхлители). Отдельной задачей было определение качественных показателей подсистемы для глубокой обработки почвы (долото с рыхлителями).

Установочная глубина рыхления долотом составила 35 см, а плоскорезным, полимерным плоскорезным, криволинейным рыхлителем – 16 см (рисунок 1).

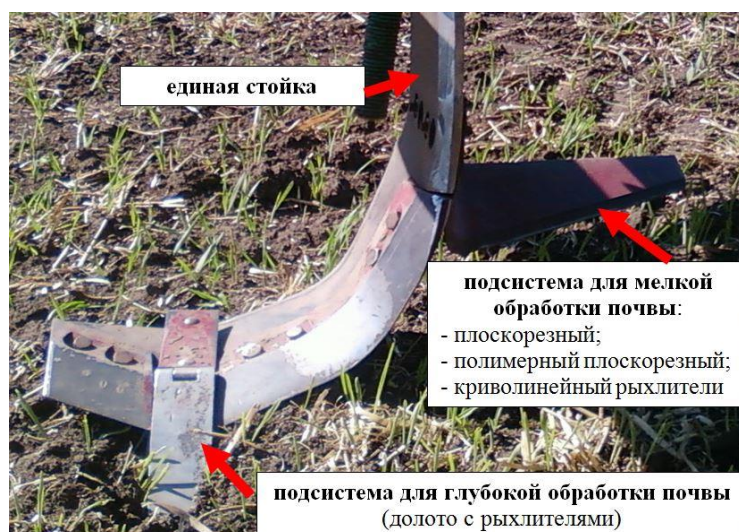


Рисунок 1 – Исследуемый рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы

Исследования осуществляли с использованием экспериментальной установки (рисунок 2), агрегируемой трактором Т-150 К, на которой размещалась единая стойка со сменными вариантами рыхлителя (плоскорезный, полимерный плоскорезный, криволинейный).

Таким образом, сравнивали три варианта подсистемы для мелкой обработки почвы, размещённые на единой стойке рабочего органа: плоскорезный, полимерный плоскорезный, криволинейный рыхлители (рисунок 3).

Качество глубокой обработки почвы оценивали отдельно. Рабочий орган функционировал в условиях заблокированного резания при отсутствии впереди идущего для подготовки почвы.



Рисунок 2 – Экспериментальная установка



а) плоскорезный б) полимерный плоскорезный в) криволинейный рыхлители

Рисунок 3 – Сменные варианты подсистемы для мелкой обработки почвы, размещённые на единой стойке рабочего органа

На поле установкой вешек размечали участки непосредственно для определения показателей и разгона трактора (рисунок 4).

Исследования проводили при движении трактора туда и обратно в трёхкратной повторности для исключения систематической погрешности, вызванной рельефом местности.

Скоростной режим также подвергался изменению в пределах требований.

Качественные показатели рабочих органов определяли по фону стерни зерновых предварительно обработанной дисками в один след.

Поверхность поля ровная, уклон не превышает 8 градусов. Микрорельеф поля в среднем продольный – 2,0 см, поперечный – 2,2 см.

Фон характеризовался наличием комков почвы крупнее 8 см (рисунок 5).

Влажность (рисунок 6) на глубине 35 см (в среднем 32,6 %) несколько превышала норму (до 30 %), а на глубине до 16 см (в среднем 21,9 %) соответствовала требованиям.



**Рисунок 4 – Размещение участков на поле**



**Рисунок 5 – Комки почвы до обработки новыми рабочими органами**



**Рисунок 6 – Измерение влажности почвы**

Твёрдость в обрабатываемом слое почвы соответствовала норме (до 3 МПа).

Таким образом, условия проведения исследований соответствуют норме за исключением влажности при глубокой обработке почвы.

#### **Результаты и их обсуждение**

К основным агротехническим показателям мелкой и глубокой, следовательно, послышной безотвальной обработки почвы относят: равномерность по глубине, степень крошения пласта (таблицы 1–4), гребнистость, сохранение пожнивных остатков, содержание эрозионно-опасных частиц в верхнем слое почвы. Степень подрезания сорных растений не определяли для исследуемого диапазона глубины функционирования рабочих органов.

Из анализа полученных данных следует, что сменные варианты подсистемы для мелкой обработки почвы, размещённые на единой стойке рабочего органа, соответствуют агротехническим требованиям по равномерности глубины рыхления, поскольку стандартное отклонение ( $\pm 1,4$ – $1,6$  см) не превышает допустимого ( $\pm 2,0$  см).



**Таблица 1 – Результаты исследования равномерности глубины подсистемы мелкой обработки почвы (среднее за 2019–2021 гг.)**

Показатель	Значение показателя для варианта рыхлителя		
	плоскорезный	полимерный плоскорезный	криволинейный
Глубина в среднем, см	15,4	15,3	16,1
Стандартное отклонение, ± см	1,6	1,5	1,4
Коэффициент вариации, %	10,3	9,8	8,7
Ошибка, ± см	0,3	0,3	0,3
Точность, %	1,9	2,0	1,9

Приведённые в таблице 2 данные для глубокой обработки почвы также подтверждают соответствие новых рабочих органов агротехническим требованиям, поскольку стандартное отклонение ±3,5 см не превышает допусаемого (±3,5 см).

**Таблица 2 – Результаты исследования равномерности глубины подсистемы глубокой обработки почвы (среднее за 2019–2021 гг.)**

Показатель	Значение
Глубина в среднем, см	37,4
Стандартное отклонение, ± см	3,5
Коэффициент вариации, %	9,6
Ошибка, ± см	0,8
Точность, %	2,1

Из анализа данных таблицы 3 следует, что степень крошения пласта повышается по мере приближения конфигурации рабочего органа к естественным линиям скольжения почвы криволинейной формы. Так, у криволинейного варианта рыхлителя степень (качество) крошения выше на 10,0 % ( $НСР_{05} = 2,8$ ) по сравнению с плоскорезными, в том числе и полимерным.

**Таблица 3 – Результаты исследования степени крошения пласта подсистемы мелкой обработки почвы (среднее за 2019–2021 гг.)**

Показатель	Значение показателя для варианта рыхлителя		
	плоскорезный	полимерный плоскорезный	криволинейный
Количество фракций размером менее 25 мм, %	84,6	85,0	95,0
Количество фракций размером более 25 мм, %	15,4	15,0	5,0

При этом все варианты (таблицы 3–4) соответствуют агротехническим требованиям по количеству фракций (размеру комка). При мелкой обработке почвы преобладают комки до 25 мм (84,6–95,0 %) при требуемом не менее 80 %. При глубокой обработке почвы преобладают комки размером менее 50 мм (69,6 %) при требуемом не менее 50 % (рисунок 7).

**Таблица 4 – Результаты исследования степени крошения пласта подсистемы глубокой обработки почвы (среднее за 2019–2021 гг.)**

Показатель	Значение
Количество фракций размером менее 50 мм, %	69,6
Количество фракций размером более 50 мм, %	10,4

Рабочие органы обеспечивают выполнение агротехнических требований по гребнистости: при мелкой обработке почвы высота гребней и глубина борозд составила 2,9–3,6 см, что не превышает 4 см; при глубокой – 4,3 см при допусаемом 5 см.

Для получения мульчирующего слоя из пожнивных остатков после прохода

новых рабочих органов наиболее пригоден полимерный плоскорезный рыхлитель, который не только сохраняет стерню, но и дополнительно извлекает её на поверхность поля, заделанную в процессе предварительной обработки фона дисками.



**Рисунок 7 – Размер комка после обработки почвы рабочими органами**

По данному показателю выполнены агротехнические требования: обеспечивается сохранение стерни при функционировании плоскорезного, полимерного плоскорезного, криволинейного рыхлителя на 89–107 % (при допуске не менее 70 %). При функционировании подсистемы для глубокой обработки почвы (долота с рыхлителями) обеспечивается сохранение стерни на 74 % (при допуске не менее 60 %).

Способность полимерного плоскорезного рыхлителя извлекать на поверхность поля заделанные растительные остатки можно объяснить иными фрикционными свойствами и электрическим потенциалом пластика (по сравнению с металлом), позволяющими сепарировать частицы с высокой парусностью в псевдооживленном верхнем мульчирующем слое почвы, состоящим из измельченных и перемешанных стерни и почвы.

Инновационные рабочие органы приводят к снижению содержания пылевидных эрозионно-опасных частиц (размером менее 1 мм) в верхнем слое почвы (0–5 см) на 8,4–9,6 %, тем самым обеспечивая выполнение агротехнических требований.

### **Выводы**

Получены данные качественных показателей инновационных рабочих органов для послыйной безотвальной обработки почвы, соответствующие агротехническим требованиям по равномерности глубины рыхления, качеству крошения, гребнистости, сохранению стерни, снижению содержания пылевидных эрозионно-опасных частиц в верхнем слое почвы.

При мелкой (глубокой) обработке почвы стандартное отклонение глубины  $\pm 1,4$ – $1,6$  см ( $\pm 3,5$  см) не превышает допустимого  $\pm 2,0$  см ( $\pm 3,5$  см).

При мелкой обработке почвы преобладают комки размером до 25 мм (84,6–95,0 %) при требуемом значении не менее 80 %. При глубокой обработке почвы преобладают комки размером менее 50 мм (69,6 %) при требуемом значении не менее 50 %.

При мелкой обработке почвы высота гребней и глубина борозд составила 2,9–3,6 см, что не превышает нормативное 4 см; при глубокой – 4,3 см при допустимом значении 5 см.

Обеспечивается сохранение стерни при мелкой (глубокой) обработке почвы на 89–107 % (74 %) при допуске не менее 70 % (60 %).

Инновационные рабочие органы приводят к снижению частиц размером менее 1 мм в верхнем слое почвы (0–5 см) на 8,4–9,6 %.

## Литература

1. 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. Т. 12. № 1. С. 42–47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47.
2. Сыромятников Ю. Н. Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 3. С. 38–44. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44.
3. Пархоменко С. Г., Пархоменко Г. Г. Метод структурного моделирования систем автоматического регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 55–61.
4. Дубовик Д. В., Лазарев В. И., Айдиев А. Я., Ильин Б. С. Эффективность различных способов основной обработки почвы и прямого посева при возделывании озимой пшеницы на чернозёмных почвах // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 12. С. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11205.
5. Melland A. R., Antille D. L., Dang Y.P. Effects of strategic tillage on short-term erosion, nutrient loss in runoff and greenhouse gas emissions // Soil Research. 2016. Vol. 55. No. 3. DOI: 10.1071/SR16136.
6. Bluett C., Tullberg J. N., McPhee J. E., Antille D. L. Soil and tillage research: Why still focus on soil compaction? // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. Art. No. 104282. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.028.
7. Colombi T., Torres L. C., Walter A., Keller T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – a vicious circle // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 626. No. 1. P. 1026–1035. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.129.
8. Niu G., Shao L. T., Sun D. A., Guo X. A simplified directly determination of soil-water retention curve from pore size distribution // Geomechanics and Engineering. 2020. Vol. 20. No. 5. P. 411–420. DOI: 10.12989/gae.2020.20.5.411.
9. Couvreur V., Vanderborght J., Draye X., Javaux M. Dynamic aspects of soil water availability for isohydric plants: focus on root hydraulic resistances // Water Resources Research. 2014. Vol. 50. No. 11. P. 8891–8906. DOI: 10.1002/2014WR015608.
10. 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.
11. Пархоменко Г. С., Пархоменко С. Г., Пархоменко Г. Г. Расчёт в MATHCAD рабочих режимов тягово-приводных машинно-тракторных агрегатов // Материалы XLIV Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное агентство по сельскому хозяйству, ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет», 2005. С. 271–275.
12. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I. Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties // DRC Sustainable Future. 2020. Vol. 1. No. 1. P. 14–20. DOI: 10.37281/DRCSF/1.1.3.
13. Василенко В. В., Василенко С. В., Борзило В. С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 48–52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52.
14. Абдулхаев Х. Г., Халилов М. М. Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13. № 3. С. 44–47. DOI: 10.22314/2073-7599-201913-3-44-47.
15. Патент РФ №2176439 «Рабочий орган для подпочвенно-разбросного посева» // Авторы: Беспамятнова Н. М., Таранин В. И., Бельц А. Ф. Патентообладатель: Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. 05.07.2000.

## References

1. Saveliev 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. 2018. Vol. 12. No. 1. P. 42–47. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47.
2. Syromyatnikov Yu. N. Qualitative performance indicators of a ripping-and-separating machine for soil cultivation // Agricultural Machinery and Technologies. 2018. Vol. 12. No. 3. P. 38–44. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44.
3. Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Method of structural modeling of automatic control systems of operational modes of tillage units // Proceedings of GOSNITI. 2017. Vol. 126. P. 55–61.
4. Dubovik D. V., Lazarev V. I., Aydiev A. Ya., Ilyin B. S. Efficiency of various methods of primary tillage and direct sowing during the cultivation of winter wheat on chernozem soils // Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2019. Vol. 33. No. 12. P. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11205.

5. Melland A. R., Antille D. L., Dang Y.P. Effects of strategic tillage on short-term erosion, nutrient loss in runoff and greenhouse gas emissions // Soil Research. 2016. Vol. 55. No. 3. DOI: 10.1071/SR16136.
6. Bluett C., Tullberg J. N., McPhee J. E., Antille D. L. Soil and tillage research: Why still focus on soil compaction? // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. Art. No. 104282. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.028.
7. Colombi T., Torres L. C., Walter A., Keller T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – a vicious circle // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 626. No. 1. P. 1026–1035. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.129.
8. Niu G., Shao L. T., Sun D. A., Guo X. A simplified directly determination of soil-water retention curve from pore size distribution // Geomechanics and Engineering. 2020. Vol. 20. No. 5. P. 411–420. DOI: 10.12989/gae.2020.20.5.411.
9. Couvreur V., Vanderborght J., Draye X., Javaux M. Dynamic aspects of soil water availability for isohydric plants: focus on root hydraulic resistances // Water Resources Research. 2014. Vol. 50. No. 11. P. 8891–8906. DOI: 10.1002/2014WR015608.
10. 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.
11. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Calculation in MATHCAD of operating modes of traction-driven machine-tractor units // Proceedings of the XLIV International Scientific and Technical Conference “Achievements of science – agro-industrial production”. Chelyabinsk: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Federal Agency for Agriculture, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education “Chelyabinsk State Agroengineering University”, 2005. P. 271–275.
12. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I. Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties // DRC Sustainable Future. 2020. Vol. 1. No. 1. P. 14–20. DOI: 10.37281/DRCSF/1.1.3.
13. Vasilenko V. V., Vasilenko S. V., Borzilo V. S. Zone of soil loosening with cultivator sweeps // Agricultural Machinery and Technologies. 2018. Vol. 12. No. 4. P. 48–52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52.
14. Abdulkhaev Kh. G., Khalilov M. M. Determining the parameters of leveler-ripper shanks // Agricultural Machinery and Technologies. 2019. Vol. 13. No. 3. P. 44–47. DOI: 10.22314/2073-7599-201913-3-44-47.
16. Patent RF 2176439 “Subsurface broadcast sowing working tool” // Bespamyatnova N. M., Taranin V. I., Bel'ts A. F. Patent holder: All-Russian Research Design and Technological Institute of Agricultural Mechanization and Electrification. 05.07.2000.

UDC 631.31

Parkhomenko G. G., Bozhko I. V., Kambulov S. I., Pakhomov V. I.

### QUALITATIVE INDICATORS OF WORKING BODIES FOR LAYER-BY-LAYER NON-MOLDBOARD TILLAGE

**Summary.** Innovative working bodies are designed for layer-by-layer non-moldboard tillage in areas with insufficient and unstable moisture in fields exposed to the combined effect of water and wind erosion. These working bodies contain a single curved rack of the paraplow type with a subsoiler or flat lifter in the form of a chisel and are equipped, depending on the physical and mechanical properties of the treated medium and field weediness, with a flat-cut or curvilinear ripper, as well as polymer material (ultra-high molecular weight polyethylene of low density). The purpose of the study is to determine the qualitative indicators of the technological process of layer-by-layer non-moldboard tillage by innovative working bodies and their compliance with agrotechnical requirements. The research was carried out in the department of mechanization of crop production of the SSE Agricultural Research Center “Donskoy” in 2019–2021. A comparative assessment of quality indicators was carried out for three variants of the subsystem of the system “working body for layer-by-layer non-moldboard tillage” (flat cutter, polymer flat cutter, curved ripper). A separate task was to determine the quality indicators of the subsystem for deep tillage (chisel with rippers). The standard deviation of the depth of  $\pm 1.4$ – $1.6$  cm ( $\pm 3.5$  cm) does not exceed the allowable  $\pm 2.0$  cm ( $\pm 3.5$  cm) for shallow (deep) tillage. Soil clods of up to 25 mm in size (84.6–95.0 %) prevail when soil is cultivated at a shallow depth; the required value is at least 80%. During deep tillage, lumps of less than 50 mm (69.6 %) in size prevail; the required value – at least 50 %. The height of the ridges and the depth of the

*furrows in the process of shallow tillage were 2.9–3.6 cm, which does not exceed the standard (4 cm); during deep tillage – 4.3 cm; permissible value – 5 cm. Preservation of stubble is ensured during shallow (deep) tillage by 89–107 % (74 %) with an acceptable value of at least 70 % (60 %). Innovative working bodies lead to a reduction in the number of particles smaller than 1 mm in the topsoil (0–5 cm) by 8.4–9.6 %.*

**Keywords:** *soil, layer-by-layer loosening, unstable moisture, working body, agrotechnical requirements, qualitative indicators.*

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.

Божко Игорь Владимирович, 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: i.v.bozhko@mail.ru.

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; профессор кафедры "Технологии и оборудование переработки продукции АПК" ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Пахомов Виктор Иванович, и.о. директора, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3, заведующий кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК» доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Parkhomenko Galina Gennadiyevna, Cand. Sc. (Tech.), leading researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Bozhko Igor Vladimirovich, Cand. Sc. (Tech.), senior researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; 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 SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14 Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; professor of the Technologies and Equipment for Agricultural Products Processing Department, FSBEI of HE “Don State Technical University”; Gagarin Square 1, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Pakhomov Viktor Ivanovich, Dr. Sc. (Tech.), Acting Director, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 3, Nauchny gorodok str., Zernograd, 347740, Russia; professor, head of the Technologies and Equipment for Agricultural Products Processing Department, FSBEI of HE “Don State Technical University”; Gagarin Square 1, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 20.12.2021.*

*Дата принятия к печати – 18.01.2022.*

Реут А. А., Бекшенева Л. Ф.

## ТОКСИКАНТЫ I КЛАССА ОПАСНОСТИ В ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ МНОГОЛЕТНИКАХ

Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

**Реферат.** Техногенная эмиссия тяжелых металлов (ТМ) приводит к их накоплению и миграции в системе «почва-растение». Среди компонентов озеленения, подвергающихся воздействию токсикантов, значительное место занимают травянистые многолетники. Цель исследований – изучение аккумуляции и распределения элементов I класса опасности в растениях рода *Iris* L. Исследования проводили в 2020–2021 гг. на базе Южно-Уральского ботанического сада-института. Объекты исследований: почва участка и органы растений (*Iris orientalis*, *I. pseudacorus*, *I. sibirica*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae*). Элементный состав определяли атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией. Распределение поллютантов оценивали с использованием коэффициента биологического поглощения (КБП), суммарной кумуляции в вегетативных и генеративных, а также подземных и надземных органах. Содержание подвижных форм ТМ и металлоидов в почве не превышает ПДК и составляет в среднем: Cd – 0,03, As – 0,59, Pb – 0,48 мг/кг. Распределение кадмия по органам зависит от вида: возможна как базипетальная (*I. orientalis* – 0,05 мг/кг), так и акропетальная аккумуляция элемента (*I. spuria* subsp. *carthaliniae* – 0,05 мг/кг). Накопление в надземных органах превышает кумуляцию в корнях от 1,4 до 7,5 раз. Величины КБП для кадмия разнятся – от 0,27 до 1,56. Показано, что корни *I. orientalis*, *I. pseudacorus*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae* выполняют барьерную функцию и аккумулируют мышьяк в количествах, превышающих ПДК (0,67–0,85 мг/кг). Корневая система *I. sibirica* не препятствует поступлению токсиканта, сосредоточенному в генеративных органах в концентрации, превышающей ПДК (0,61–0,78 мг/кг). Определено, что КБП мышьяка в листьях всех видов менее 1. Поглощение свинца не зависит от видов, что подтверждают близкие суммарные показатели элемента, а также схожее распределение по органам и стабильно высокий КБП. Выявлена преимущественно надземная концентрация поллютанта (3,4–5,1). Результат регрессионного анализа показал, что содержание подвижной формы свинца в почве не влияет на его аккумуляцию в листьях.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, металлоиды, свинец, кадмий, мышьяк, *Iris* L., ПДК, коэффициент биологического поглощения, коэффициент транслокации.

**Для цитирования:** Реут А. А., Бекшенева Л. Ф. Токсиканты I класса опасности в декоративных травянистых многолетниках // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 132–144. EDN: PIUPRW.

**For citation:** Reut A. A., Beksheneva L. F. Toxicants of hazard class 1 in ornamental herbaceous perennials // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 132–144. EDN: PIUPRW.

### Введение

Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) – серьезная проблема крупных городов. Поступление ТМ в почвенный покров определяет их миграцию в грунтовые воды и доступность для растений. Изучение ТМ в системе «почва-растение»

позволяет оценить их накопление в растениях и отдельных органах, установить роль растений в самоочищающей способности урбоэкосистем [1].

Поглощение элементов зависит от ряда причин – видовой принадлежности растения, биодоступности самого элемента, агротехнологий [2, 3]. Исследователи отмечают зависимость между концентрацией ТМ в субстрате и растительных тканях. Чаще наблюдают прямую зависимость содержания тяжелых металлов в растениях от содержания их подвижных форм в почве, так как именно подвижные, а не валовые формы доступны растениям [4]. По литературным данным, поступление и распределение ТМ по органам растений происходит таким образом, что корень берет на себя основные концентрирующие функции, осуществляя «эффект задержания» [5, 6].

Поллютанты первого класса опасности (кадмий, мышьяк, свинец) в относительно низких концентрациях наиболее токсичны для живых организмов, включая растения. Воздействие кадмия на растительные клетки носит мутагенный характер, вызывая нарушения митоза и структурные повреждения хромосом [7]. Исследователи отмечают видовые особенности в накоплении и распределении по растительным органам кадмия. Так, высокая толерантность к накоплению поллютанта обнаружена для ячменя – кадмий накапливается в корневой системе в количестве, превышающем в 2000 раз его содержание в зерне [8]. У лиственных деревьев наибольшие концентрации кадмия также отмечены в корнях [9]. Бобовые травы, наоборот, накапливают кадмий в надземной части [10]. Пастбищные растения характеризуются максимальным содержанием кадмия в корнях, однако степень концентрации элемента отличается у разных видов: у злаковых трав она выше, чем у донника лекарственного и лебеды раскидистой [4]. Из семейства ирисовых способность к накоплению кадмия показал *Iris lactea var. chinensis*, имеющий Cd-толерантные гены [11].

Предшествующие исследования показали, что мышьяком наиболее обогащаются листья и корни растений [4], также отмечены значительные внутри- и межвидовые различия в способности растений к биоаккумуляции мышьяка [12]. В исследованиях с *Hemerocallis hybrida*, произрастающем на культуроземе ЦСБС СО РАН, содержание мышьяка в листьях разных сортов составило 0,02 мг/кг, в корневищах – 0,04–0,09 мг/кг [13]. Выращенные на культуроземе Южного Урала *Camassia cusickii* и сорта рода *Narcissus* обладают способностью к накоплению мышьяка, превышающего нормы ПДК как в луковицах, так и в листьях, причем концентрация токсиканта в надземных и подземных органах сортоспецифична [14].

До настоящего времени выявить биологическую роль свинца в метаболизме растений не удалось, хотя он и обнаруживается во всех растительных организмах [15]. Токсикант ингибирует деление клеток и подавляет рост растительных тканей [16]. Содержание свинца в органах *Hemerocallis hybrida*, выращенных на культуроземе в Новосибирске, составило 1,0–2,0 мг/кг, причем распределение по корневищам и листьям было неравнозначным у разных сортов [13]. Исследователи сообщают о преимущественном накоплении свинца в листьях сортов садовой земляники, что можно объяснить дополнительным фолиарным поглощением элемента из атмосферы [17]. Подобный вариант распределения свинца обнаружен для большинства сортов рода *Narcissus* – элемент концентрируется в надземных органах. Эта закономерность не распространяется на сорт ‘Arctic Gold’, а также на вид *Camassia cusickii*, аккумулирующих поллютант в луковицах [14].

Выяснение способов аккумуляции тяжелых металлов разными видами растений имеет практическое значение для комплексной оценки состояния почвенно-растительного покрова, выявления растений-индикаторов, исключителей и гипераккумуляторов, организации своевременных мероприятий по восстановлению ландшафтов. С этой точки зрения особенное внимание следует уделить накоплению

поллютантов в органах декоративных травянистых многолетников, занимающих определенную экологическую нишу в озеленении населенных пунктов.

**Цель исследований** – изучение аккумуляции и распределения элементов I класса опасности (мышьяк, кадмий, свинец) в почве и декоративных травянистых многолетниках рода *Iris* L.

#### Материалы и методы исследований

Исследования проводили в вегетационные периоды 2020–2021 гг. на опытном участке лаборатории интродукции и селекции цветочных растений Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН), расположенного в юго-восточной части г. Уфы в междуречье рек Уфы и Сутолоки.

Территория относится к Предуральской лесостепной провинции лесостепной зоны. Почва на опытном участке серая лесная, типичная для региона. Содержание гумуса – 5,7 % (по Тюрину), нитратного азота – 1,7 мг/кг (ГОСТ Р 53219-2008), фосфора – 140,9 мг/кг (по Чирикову), калия – 145 мг/кг (по Чирикову); рН сол. – 6,33.

Регион характеризуется умеренно-континентальным климатом. В период проведения исследований метеоусловия варьировали по сравнению со среднемноголетними значениями (таблица 1).

**Таблица 1 – Погодные условия в вегетационные периоды 2020–2021 гг.**

Год	Месяц						За год
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	
	средняя температура воздуха, °С						
2020	6,0	14,1	16,5	22,0	16,9	11	5,5
2021	7,4	18,5	20,7	20,7	21,4	10	5,2
Среднемноголетний показатель	5,2	13,2	18,1	19,7	17,2	11,6	3,8
	сумма осадков, мм						
2020	57	27	37	67	104	56	589
2021	26	9	20	20	0,6	50	405
Среднемноголетний показатель	33	47	67	55	58	48	590

Весна 2020 г. была ранней. В целом год характеризовался нормой по количеству выпавших осадков, однако в начале вегетации (в мае и июне) наблюдали недостаток по ним, тогда как в августе их выпало на 79,3 % больше нормы. Особенность года – высокая средняя температура, превышающая норму на 1,7 °С. Июль был экстремально жарким, температура достигала отметки в 40 °С в течение двух недель.

Погодные условия 2021 г. характеризовались жарким и засушливым вегетационным периодом – с апреля по август количество осадков было значительно меньше нормы (–185 мм), тогда как фактические температуры этих месяцев отклонялись от нормы в сторону увеличения на +4,8 °С в мае, +2,8 °С в июне, +0,9 °С в июле, +3,8 °С в августе. Среднегодовая температура превысила норму на 1,4 °С.

Объектами исследования являлись почва опытного участка и органы растений рода *Iris* L. (корни, листья, цветоносы, цветки и семена). Изучаемые многолетники интродуцированы на территории ЮУБСИ УФИЦ РАН. Виды *I. orientalis* Mill. и *I. spuria subsp. carthaliniae* (Fomin) V. Mathew не произрастают в лесостепной зоне Башкирского Предуралья, виды *I. pseudacorus* L. и *I. sibirica* L. являются аборигенными. Экологические характеристики видов приведены согласно литературным источникам [18, 19].



*I. orientalis* Mill. – Касатик восточный. Ксеромезофит. Родина ириса – Юго-Восточная Европа и Малая Азия, встречается в дельтах рек и болот, на окраинах лесных массивов и лугах.

*I. pseudacorus* L. – Касатик ложноаирный. Гидрофит. Произрастает в Европе, на Кавказе, в Западной Сибири, Северной Африке и Малой Азии по мелководьям рек, озер, болот. Занесен в Красную книгу РБ с категорией редкости 2 – вид, сокращающийся в численности [20].

*I. sibirica* L. – Касатик сибирский. Мезофит. Распространен от Европы и Кавказа до Западной и Средней Сибири, в Армении, Казахстане, Центральной Азии на пойменных и лесных лугах, по лесным опушкам и березовым колкам.

*I. spuria* subsp. *carthaliniae* (Fomin) V. Mathew – Касатик ложный карталинский. Гидромезофит. Эндемик восточной части Кавказа. Распространен по берегам ручьев и каналов, на влажных лугах, в лесах и у прибрежных участков дорог.

С опытного участка в течение двух лет отбирали объединенную пробу почвы, состоящую из 25 точечных заборов. Глубина отбора составляла 1–25 см, масса объединенной пробы – 1 кг за два года исследований. В образцах почвы определяли подвижные формы трех химических элементов, относящихся к I классу опасности (As, Cd, Pb). Извлечение и определение металлов проводили согласно методике [21], мышьяка – согласно [22].

Образцы растений (органы) отбирали в соответствующих фазах развития: цветения (цветы и цветоносы), плодоношения (плоды), вторичной фазе вегетации (листья), осенний переходный период (корни). Образцы сушили при комнатной температуре и измельчали до порошкообразной фракции. Смешанную пробу сырья (50 г) составляли из 10 индивидуальных проб за каждый год исследования. Извлечение металлов и мышьяка проводили согласно методике [23].

Элементный состав определяли атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией (спектрометр Shimadzu A-6800 с электротермическим атомизатором GFA EX-7) на базе аналитической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства. Повторность определения токсикантов в пробах почвы и растениях – трехкратная. Полученные значения сравнивали с нормативными данными ПДК. Математическую обработку выполняли в программе Statistica 6.1 и Microsoft Office Excel 2007.

Для характеристики особенностей накопления химических элементов применяли коэффициент биологического поглощения (КБП – отношение содержания элемента в растении к содержанию его в почве, на которой произрастает данное растение) [24].

### Результаты и их обсуждение

Содержание кадмия в почве иридария составляет 0,033 мг/кг и не превышает установленных норм ПДК (1 мг/кг) [25]. В наших исследованиях концентрация кадмия в различных органах исследованных видов варьирует от 0,009 до 0,052 мг/кг (рисунок 1) и не выходит за рамки ПДК для ЛРС (1 мг/кг) [26].

По содержанию кадмия в подземной части ирисы образовали ряд:

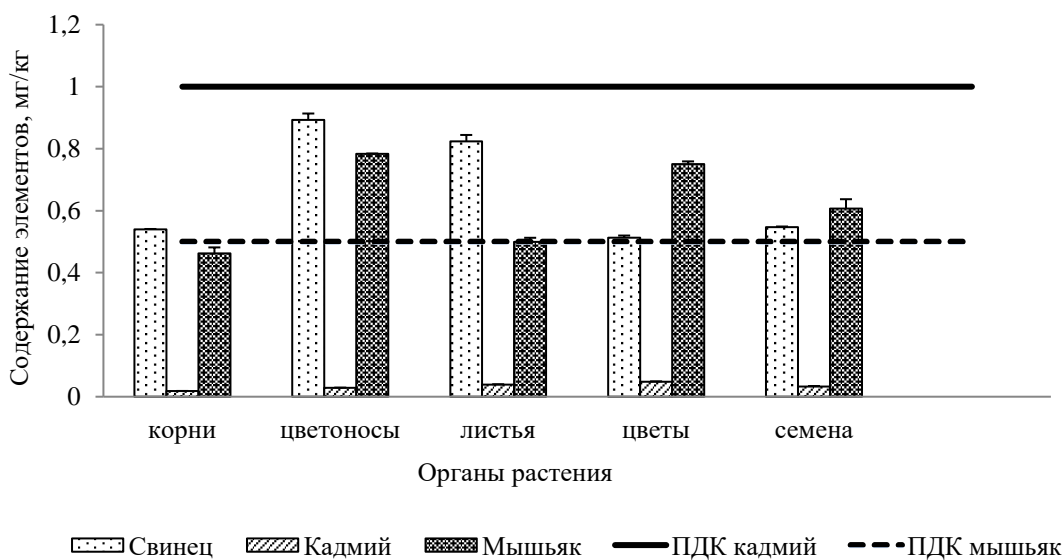
*I. orientalis* (0,05 мг/кг) > *I. spuria* subsp. *carthaliniae* (0,025 мг/кг) > *I. pseudacorus* (0,021 мг/кг) > *I. sibirica* (0,018 мг/кг).

По концентрации элемента в листьях виды располагаются в следующем порядке:

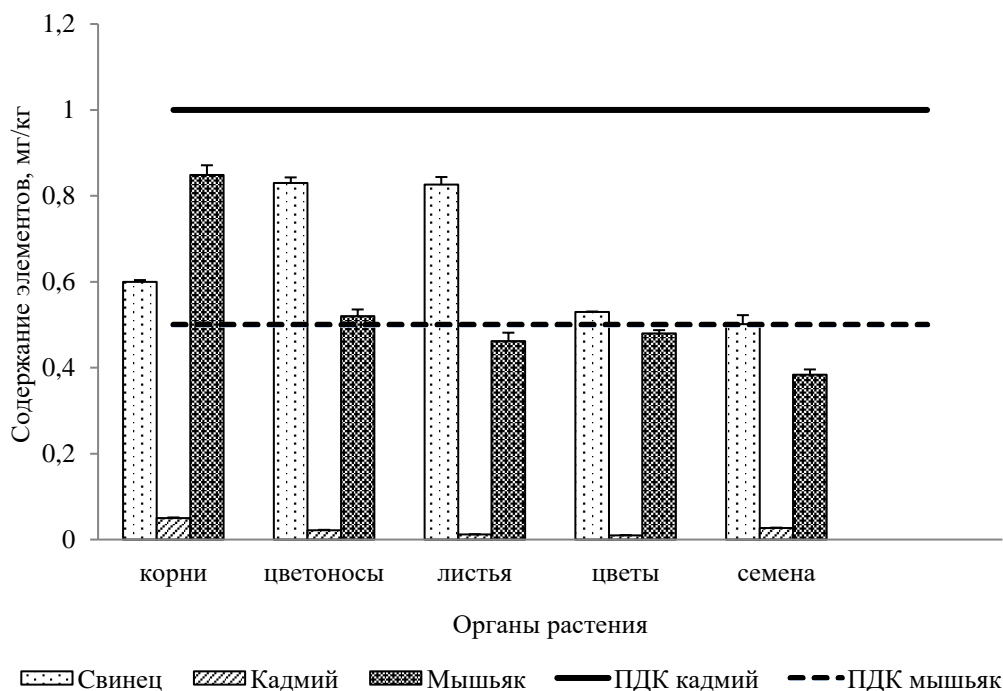
*I. spuria* subsp. *carthaliniae* (0,052 мг/кг) > *I. sibirica* (0,039 мг/кг) > *I. pseudacorus* (0,021 мг/кг) > *I. orientalis* (0,012 мг/кг).

Близкородственные ирисы секции *Xyridion* различаются по способности накапливать Cd: *I. orientalis* демонстрирует ограниченное поступление металла в надземную часть (содержание элемента в корнях в 4,2 раза превышает его содержание

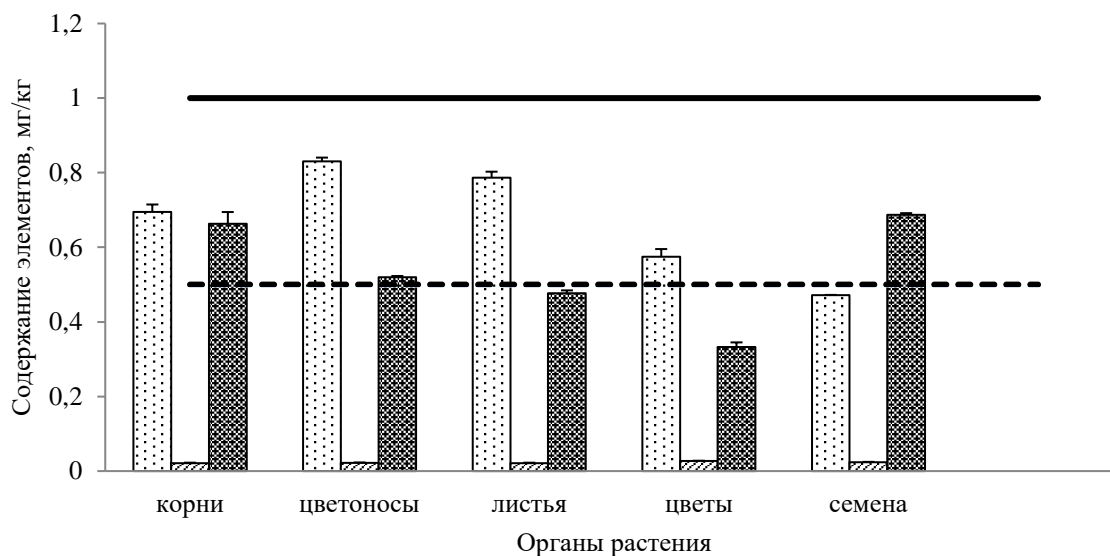
в листьях). Для *I. spuria subsp. carthaliniae*, наоборот, отмечено повышенное содержание Cd в листьях, превышающее в 2,1 раза его содержание в корнях. Первый вид можно отнести к видам-исключителям, а второй – к аккумуляторам данного металла [27]. *I. sibirica* также можно отнести к видам-аккумуляторам, концентрация кадмия в листьях превышает таковую в корнях в 2,2 раза. У данного вида отсутствует физиологический барьер, препятствующий поступлению токсиканта в генеративные органы – содержание кадмия в цветах и плодах составляет 0,048 и 0,033 мг/кг соответственно. *I. pseudacorus* характеризуется практически равномерным распределением кадмия по всем органам.



*I. sibirica*

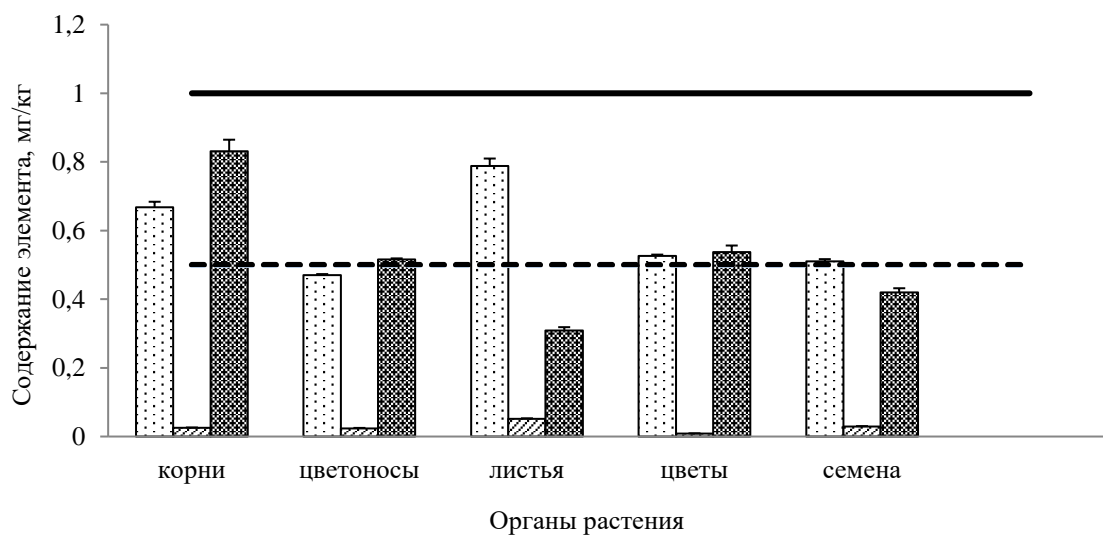


*I. orientalis*



Свинец Кадмий Мышьяк ПДК кадмий ПДК мышьяк

*I. pseudacorus*



Свинец Кадмий Мышьяк ПДК кадмий ПДК мышьяк

*I. spuria subsp. carthaliniae*

**Рисунок 1 – Содержание тяжелых металлов и металлоида I класса опасности в органах растений рода *Iris* (среднее за 2020–2021 гг.)**

Об интенсивности поглощения растениями кадмия из почвы можно судить по полученному КБП (рисунок 2). Величины КБП для кадмия значительно варьируют от 0,27 до 1,56. Для большинства вариантов исследования «растительный орган – почва» кадмий является элементом биологического захвата (КБП <1). Однако для нескольких вариантов – корни *I. orientalis*, листья (*I. sibirica*, *I. spuria subsp. carthaliniae*) и цветы *I. sibirica* – поллютант становится элементом биологического накопления (КБП >1).

Мы считаем необходимым обратить особое внимание на сравнительное распределение элементов по типам органов (таблица 2). Так, среди изученных видов растения *I. sibirica* занимают первое место по концентрации кадмия в целом. Интродуцированные виды секции *Xyridion* имеют равное (*I. orientalis*) или преимущественно вегетативное (*I. spuria subsp. carthaliniae*) распределение металла.

У видов аборигенной флоры (*I. sibirica*, *I. pseudacorus*) суммарное содержание кадмия в генеративных органах выше, чем в вегетативных. Суммарное накопление кадмия в надземных органах всех изученных видов превышает его содержание в корнях от 1,4 (*I. orientalis*) до 7,4 (*I. sibirica*) раз.

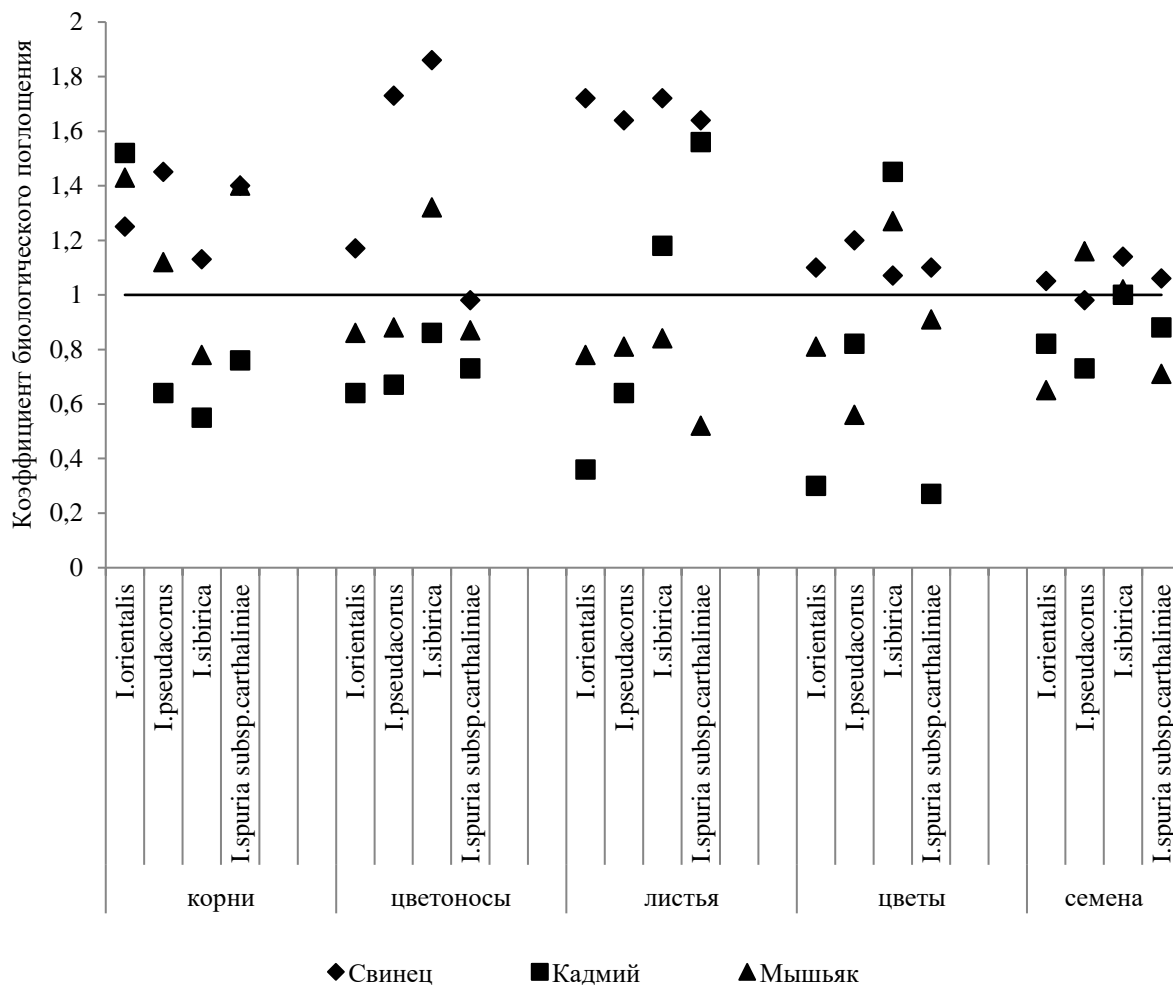


Рисунок 2 – Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов и металлоида I класса опасности (среднее за 2020–2021 гг.)

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов и металлоида I класса опасности в растениях рода *Iris* (среднее за 2020–2021 гг.)

Вид	Содержание элемента в органах (мг/кг):								
	всего растения			вегетативных / генеративных			надземных / подземных		
	Pb	Cd	As	Pb	Cd	As	Pb	Cd	As
<i>I. orientalis</i>	3,29	0,12	2,69	1,43 / 1,86	0,06 / 0,06	1,31 / 1,38	2,69 / 0,6	0,07 / 0,05	1,84 / 0,85
<i>I. pseudacorus</i>	3,36	0,12	2,68	1,48 / 1,88	0,04 / 0,08	1,14 / 1,54	2,67 / 0,69	0,1 / 0,02	2,02 / 0,66
<i>I. sibirica</i>	3,32	0,17	3,1	1,36 / 1,96	0,06 / 0,11	0,96 / 2,19	2,78 / 0,54	0,15 / 0,02	2,64 / 0,46
<i>I. spuria subsp. carthaliniae</i>	2,96	0,14	2,61	1,46 / 1,5	0,08 / 0,06	1,14 / 1,47	2,29 / 0,67	0,11 / 0,03	1,78 / 0,83

Данные содержания подвижного мышьяка в почве показали, что на опытном участке концентрация элемента (0,59 мг/кг) не превышает ПДК для почв (2 мг/кг).

Согласно Фармакопее [26] экологически безопасным является растительное сырье, содержащее мышьяк в количестве не более 0,5 мг/кг. В нашем исследовании содержание мышьяка в различных органах растений варьирует от 0,31 до 0,85 мг/кг. Наиболее значительные концентрации поллютанта отмечены для корней трех видов ирисов – 0,66–0,85 мг/кг; подземные органы этих видов выполняют барьерную функцию в отношении токсиканта. *I. sibirica* не накапливает мышьяк в корнях и в листьях выше установленного ПДК, однако генеративные органы (цветоносы, цветы и семена) являются сосредоточием поллютанта (0,61–0,78 мг/кг), защитная функция корней в отношении элемента наименее проявлена у данного вида. В цветоносах других видов кумуляция элемента находится на границе с ПДК (0,51–0,52 мг/кг). Отмечена тенденция к накоплению мышьяка в цветах *I. spuria subsp. carthaliniae* (0,54 мг/кг) и семенах *I. pseudacorus* (0,69 мг/кг). Концентрация мышьяка в листьях исследованных растений находится в пределах установленной нормы ПДК – 0,31–0,49 мг/кг.

Расчет индексов биоаккумуляции показал, что все исследованные виды на незагрязненной почве являются растениями биологического накопления мышьяка, но с различной локализацией элемента: базипетальной – КБП >1 в корнях *I. pseudacorus*, *I. orientalis*, *I. spuria subsp. carthaliniae* и акропетальной – КБП >1 – в генеративных органах *I. sibirica*.

Аналитический материал свидетельствует о различиях по уровню накопления мышьяка в суммарном количестве у разных видов. *I. sibirica*, как и в случае с кадмием, лидирует по содержанию элемента. Накопление мышьяка в генеративных органах *I. sibirica* в 3,65 раз превышает его аккумуляцию в вегетативных. У остальных видов различие в аккумуляции токсиканта между генеративными и вегетативными органами не превышает значений 1,05–1,35 раз. Виды также различаются по способности накапливать мышьяк в надземных и подземных органах при одной и той же концентрации в почве, что важно при выявлении растений-ремедиантов. Выявлено, что суммарная концентрация поллютанта в надземных органах *I. sibirica* в 5,74 раза превышает его накопление в подземных. Для *I. pseudacorus* это соотношение составило 3,06. Минимальное соотношение характерно для *I. orientalis* и *I. spuria subsp. carthaliniae* – 2,16 и 2,14 раз.

По сравнению с другими тяжелыми металлами, свинец наименее подвижен, причем степень подвижности элемента сильно снижается при известковании почв [28]. Содержание подвижных форм свинца в почве исследованного культурозема не превышало ПДК для почв (6 мг/кг) и составило 0,48 мг/кг.

В соответствии с Фармакопеей [26] ПДК свинца в растениях не должна превышать 6 мг/кг. Исследования содержания элемента не выявили превышения ПДК ни в одном типе растительного сырья – концентрация свинца варьирует в пределах 0,47–0,89 мг/кг. Наибольшая аккумуляция токсиканта отмечена в листьях для всех исследованных видов (0,79–0,83 мг/кг), наименьшая – в цветах (0,51–0,57 мг/кг) и семенах (0,47–0,55 мг/кг). Средоточие элемента в корнях занимает промежуточное положение (0,54–0,69 мг/кг). Поэтому возникает вопрос о роли корневого поступления свинца в надземную часть растений. Проведенный регрессионный анализ показал, что содержание свинца в листьях мало зависит от почвенного поступления элемента:

$$y = -0,2807x + 0,9817 (R^2 = 0,8262)$$

Это не противоречит предположению о фолиарном поступлении свинца в растения, поскольку уровень загрязнения атмосферы в городе Уфа относится к «высокому», исследователи отмечают рост выбросов неорганической пыли, содержащей свинец [29].

Среди исследованных элементов – токсикантов I группы свинец стабильно имеет наиболее высокие коэффициенты биологического поглощения у всех видов, варьирующий в довольно узких пределах: для корней 1,13–1,45, для цветоносов 0,98–1,86, для листьев – 1,64–1,72, для цветов 1,07–1,20, для семян – 0,98–1,14. В данном случае такое согласованное поглощение свинца растениями свидетельствует о независимости от видовой принадлежности растения.

Исследованные виды суммарно аккумулируют свинец примерно в одинаковом количестве (см. таблицу 2) – лишь *I. spuria subsp. carthaliniae* отличается меньшей общей концентрацией поллютанта. Вегетативные и генеративные органы этого вида ирисов, содержат фактически равное количество свинца. Для других видов превышение аккумуляции в генеративных органах незначительно и не превышает значений 1,3–1,4. В случае с распределением свинца по подземным и надземным органам мы наблюдали преимущественную концентрацию элемента в надземной части: от 3,4 (*I. spuria subsp. carthaliniae*) до 5,1 раз (*I. sibirica*).

### Выводы

В ходе проведенного исследования установлено, что содержание подвижных форм тяжелых металлов и металлоида I класса опасности (мышьяк, кадмий, свинец) в почве опытного участка не превышает предельно допустимых концентраций.

Анализ растительного сырья показал, что содержание кадмия в растениях находится в пределах допустимых норм, а его распределение по органам зависит от вида. Близкородственные виды имеют либо корневое (*I. orientalis* – 0,05 мг/кг), либо фоллиарное (*I. spuria subsp. carthaliniae* – 0,05 мг/кг) распределение токсиканта. Выявлено, что аборигенные виды (*I. pseudacorus*, *I. sibirica*) аккумулируют кадмий преимущественно в генеративных органах, тогда как интродуценты (*I. orientalis*, *I. spuria subsp. carthaliniae*) – в вегетативных либо в равной степени в обеих группах. Суммарное накопление кадмия в надземных органах изученных видов превышает его содержание в корнях: коэффициент транслокации варьирует от 1,4 (*I. orientalis*) до 7,5 (*I. sibirica*). Наибольшим суммарным содержанием кадмия характеризовался вид *I. sibirica* (0,17 мг/кг). Установлено, что величины КБП для кадмия сильно варьируют от 0,27 до 1,56. Поллютант является элементом биологического накопления для корней *I. orientalis*, листьев (*I. sibirica*, *I. spuria subsp. carthaliniae*) и цветов (*I. sibirica*).

Показано, что на незагрязненной почве корни *I. orientalis*, *I. pseudacorus*, *I. spuria subsp. carthaliniae* выполняют барьерную функцию и аккумулируют мышьяк в количествах, превышающих ПДК (0,67–0,85 мг/кг). Корневая система *I. sibirica* не препятствует поступлению токсиканта, который сосредотачивается в генеративных органах в концентрации превышающей ПДК (0,61–0,78 мг/кг). Выявлено, что лидером по суммарному содержанию элемента также является *I. sibirica* (3,1 мг/кг). Определено, что коэффициент биологического поглощения мышьяка в листьях всех видов менее 1, что ограничивает возможность использования исследованных видов в качестве фиторемедиантов токсиканта.

Поглощение свинца не зависит от видовой принадлежности растений, что подтверждается близкими суммарными значениями элемента, схожим распределением по органам, а также стабильно высокими коэффициентами биопоглощения. Выявлена преимущественно надземная концентрация поллютанта, превышающая аккумуляцию в корнях в 3,4–5,1 раза. Согласно данным регрессионного анализа содержание подвижной формы свинца в почве не влияет на его аккумуляцию в листьях, что подтверждает вероятность поступления токсиканта в растения фоллиарным путем.

*Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» и в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме № FMRS-2022-0072.*

## Литература

1. Корельская Т. А., Попова Л. Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 136–152.
2. Никитенко М. А. Видовая специфика поглощения тяжелых металлов (Cu, Zn, Mn и Fe) древесными растениями Камбарки Удмуртской республики // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2007. № 2 (34). С. 158–159.
3. Шабанова И. В., Нецадим Н. Н. Влияние агротехнологий на содержание тяжелых металлов в почве и качество зерна озимого ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 1(17). С. 103–111. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-103-111.
4. Белозубова Н. Ю., Зубкова В. М., Реуцкая В. В. Поступление свинца, кадмия и мышьяка в пастбищные растения в условиях Волгоградской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 5 (139). С. 71–76.
5. Барсукова В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 1997. № 47. С. 1–67.
6. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1112–1119.
7. Белоусов М. В., Машкина О. С. Влияние никеля и кадмия на цитогенетические показатели *Pinus sylvestris* // Цитология. 2015. Т. 57. № 6. С. 459–464.
8. Сафонов С. И., Литинская Т. К. Накопление кадмия разными органами взрослых растений ячменя // Экологические аспекты биологических исследований. 1999. С. 30–34.
9. Гиниятуллин Р. Х. Дифференциация деревьев в санитарно-защитных лесных насаждениях Стерлитамакского промышленного центра // Материалы IV Международной научной конференции «Экология и география растений и растительных сообществ». Екатеринбург: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Гуманитарный университет», 2018. С. 177–180.
10. Лукин С. В., Лисецкий Ф. Н., Явтушенко В. Е. Нормирование содержания тяжелых металлов в черноземе // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 4. С. 68–69.
11. Liu Q. Q., Zhang Y. X., Wang Y. J., Wang W. L., Gu C. S., Huang S. Z., Yuan H. Y., Dhankher O. P. Quantitative proteomic analysis reveals complex regulatory and metabolic response of *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* to cadmium toxicity // Journal of Hazardous Materials. 2020. Vol. 400. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123165.
12. Vaculík M., Jurkovic L., Matejkovič P., Molnárová M., Lux A. Potential risk of arsenic and antimony accumulation by medicinal plants naturally growing on old mining sites // Water, Air, & Soil Pollution. 2013. Vol. 224 (5). No. 1546. P. 1–16. DOI: 10.1007/s11270-013-1546-9.
13. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Элементный состав вегетативных органов сортов ‘Regal Air’ и ‘Speak to me’ *Hemerocallis hybrida* // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 245–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020014612.
14. Reut A., Biglova A., Allayarova I. Accumulation of heavy metals in the organs of herbaceous plants // E3S Web of Conferences. Ser. “Actual Problems of Ecology and Environmental Management, АРЕЕМ 2021”. Vol. 265. Art. No. 02019. DOI: 10.1051/e3sconf/202126502019.
15. Минкина Т. М., Бурачевская М. В., Чаплыгин В. А., Бакоев С. Ю., Антоненко Е. М., Белогорская С. С. Накопление тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях загрязнения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 4 (4). С. 1–17.
16. Кожевникова А. Д., Серегин И. В., Быстрова Е. И., Беляева А. И., Катаева М. Н., Иванов В. Б. Влияние нитратов свинца, никеля и стронция на деление и растяжение клеток корня кукурузы // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 2. С. 268–277.
17. Ветрова О. А., Кузнецов М. Н., Леоничева Е. В., Мотылева С. М., Мертвищева М. Е. Накопление тяжелых металлов в органах земляники садовой в условиях техногенного загрязнения // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49. № 5. С. 113–119.
18. Алексеева Н. Б. Род *Iris* L. (Iridaceae) в России // Turczaninowia. 2008. Т. 11. № 2. С. 5–70.
19. Аскерова Л. А. Экологическая валентность некоторых видов ирисов западной части Азербайджана // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 10. С. 50–55. DOI: 10.33619/2414-2948/47/06.
20. Красная книга Республики Башкортостан: в 2 т. Т. 1: Растения и грибы // Под ред. Миркина Б. Н. Уфа: МедиаПринт, 2011. С. 384.
21. Кузнецов А. М., Фесюн А. П., Самохвалов С. Г., Махонько Э. П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. С. 1–61.
22. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. М-МВИ-80-2008. СПб, 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru> (дата обращения 10.01.2022).

23. Методика количественного химического анализа. Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией. № М-02-1009-08. СПб, 2009. 20 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://analit-spb.ru> (дата обращения 12.01.2022).
24. Копчик Г. Н. Проблемы и перспективы фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1113. DOI: 10.7868/S0032180X1409007X.
25. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2009 году. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2010. С. 139.
26. ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. II. М., 2018. С. 1815–3262.
27. Festin E. S., Salk C., Tigabu M., Syampungani S., Oden P. C. Biological traits of tropical trees suitable for restoration of copper-polluted lands // Ecological Engineering. 138 (2019). P. 118–125. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.07.010.
28. Толкач Г. В., Позняк С. С. Содержание химических элементов в почвах на территории фермерских (крестьянских) хозяйств Брестского района // Экологический вестник. 2015. № 3. С. 79–88.
29. Чуенкова Г. А., Карелин А. О., Аскарлов Р. А., Аскарова З. Ф. Оценка риска здоровью населения города Уфы, обусловленного атмосферными загрязнениями // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 3. С. 24–29.

### References

1. Korelskaya T. A., Popova L. F. Heavy metals in the soil-vegetation cover of the selitebnni landscape of the city Arkhangelsk // Arctic and North. 2012. No. 7. P. 136–152.
2. Nikitenko M. A. Species specificity of absorption of heavy metals (Cu, Zn, Mn and Fe) by woody plants of Kambarka of the Udmurt Republic // Bulletin of Izhevsk State Technical University. 2007. No. 2 (34). P. 158–159.
3. Shabanova I. V., Neshchadim N. N. Influence of agrotechnologies on the content of heavy metals in soil and grain quality of winter barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 1 (17). P. 103–111. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-103-111.
4. Belozubova N. Y., Zubkova V. M., Reutskaya V. V. The uptake of lead, cadmium and arsenic by pasture plants under the conditions of the Volgograd region // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2016. No. 5 (139). P. 71–76.
5. Barsukova V. S. Physiological and genetic aspects of plants resistivity to heavy metals // Ecology. A series of analytical reviews of world literature. 1997. No. 47. P. 1–67.
6. Il'in V. B. Heavy metals in the soil-crop system // Eurasian Soil Science. 2007. Vol. 40. No. 9. P. 993–999.
7. Belousov M. V., Mashkina O. S. Cytogenetic response of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to cadmium and nickel // Tsitologiya. 2015. Vol. 57. No. 6. P. 459–464.
8. Safonov S. I., Litinskaya T. K. Accumulation of cadmium by various organs of adult barley plants // Ecology aspects of biology researches. 1999. P. 30–34.
9. Giniyatullin R. Kh. Differentiation of trees in sanitary-protective forest landings of the Sterlitamak industrial center // Proceedings of the IV International Scientific Conference “Ecology and geography of plants and plant communities”. Yekaterinburg: Autonomous non-profit organization of higher education “Humanitarian University”, 2018. P. 177–180.
10. Lukin S. V., Lisetskiy F. N., Yavtushenko V. E. Rationing of the content of heavy metals in black soil // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2000. No. 4. P. 68–69.
11. Liu Q. Q., Zhang Y. X., Wang Y. J., Wang W. L., Gu C. S., Huang S. Z., Yuan H. Y., Dhankher O. P. Quantitative proteomic analysis reveals complex regulatory and metabolic response of *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* to cadmium toxicity // Journal of Hazardous Materials. 2020. Vol. 400. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123165.
12. Vaculík M., Jurkovic L., Matejkovič P., Molnárová M., Lux A. Potential risk of arsenic and antimony accumulation by medicinal plants naturally growing on old mining sites // Water, Air, & Soil Pollution. 2013. Vol. 224 (5). No. 1546. P. 1–16. DOI: 10.1007/s11270-013-1546-9.
13. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. The elemental composition of the vegetative organs of sorts ‘Regal Air’ and ‘Speak to me’ of *Hemerocallis hybrida* // Khimija rastitel'nogo syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2020. No. 1. P. 245–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020014612.
14. Reut A., Biglova A., Allayarova I. Accumulation of heavy metals in the organs of herbaceous plants // E3S Web of Conferences. Ser. “Actual Problems of Ecology and Environmental Management, APEEM 2021”. Mishref: EDP Sciences, 2021. Vol. 265. Art. No. 02019. DOI: 10.1051/e3sconf/202126502019.



15. Minkina T. M., Burachevskaia M. V., Chaplygin V. A., Bakoev S. U., Antonenko E. M., Belogorskaia S. S. Heavy metals accumulation in soil – plant system in polluted environment // Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2011. No. 4 (4). P. 1–17.
16. Kozhevnikova A. D., Seregin I. V., Bystrova E. I., Ivanov V. B., Belyaeva A. I., Kataeva M. N. The effects of lead, nickel, and strontium nitrates on cell division and elongation in maize roots // Russian Journal of Plant Physiology. 2009. Vol. 56. No. 2. P. 268–277.
17. Vetrova O. A., Kuznetsov M. N., Leonicheva E. V., Motyleva S. M., Mertvishcheva M. E. Accumulation of heavy metals in the strawberry plants grown in conditions of anthropogenic pollution // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2014. Vol. 49. No. 5. P. 113–119.
18. Alekseeva N. B. Genus *Iris* L. (Iridaceae) in Russia // Turczaninowia. 2008. Vol. 11. No. 2. P. 5–70.
19. Askerova L. A. Ecological valence of some irises species of the western part of Azerbaijan // Bulletin of Science and Practice. 2019. Vol. 5. No. 10. P. 50–55. DOI: 10.33619/2414-2948/47/06.
20. Red Data Book of the Bashkortostan Republic: in 2 volumes. Vol. 1: Plants and mushrooms // Ed. by Mirkin B. N. Ufa: MediaPrint, 2011. P. 384.
21. Kuznetsov A. M., Fesyun A. P., Samokhvalov S. G., Makhonko E. P. Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production. Moscow: TsINA O, 1992. P. 1–61.
22. Method for performing measurements of the mass fraction of elements in samples of soil, earth [soil] and bottom sediments using atomic emission and atomic absorption spectrometry methods. M-MVI-80-2008. Saint-Petersburg, 2008. [Electronic resource]. Access point: <https://files.stroyinf.ru> (reference's date 10.01.2022).
23. Methods of quantitative chemical analysis. Determination of As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn and Ni in samples of food products and food raw materials by atomic absorption method with electrothermal atomization. No. M-02-1009-08. Saint-Petersburg, 2009. 20 p. [Electronic resource]. Access point: <https://analit-spb.ru> (reference's date 12.01.2022).
24. Koptsik G. N. Problems and prospects concerning the phytoremediation of heavy metal polluted soils: a review // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47. No. 9. P. 923–939. DOI: 10.1134/S1064229314090075.
25. Yearbook. Soil pollution with industrial toxicants in the Russian Federation in 2009. Obninsk: All-Russia Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, 2010. P. 139.
26. OFS.1.5.3.0009.15. Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal herbal raw materials and medicinal herbal preparations. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed. Vol. II. Moscow, 2018. P. 1815–3262.
27. Festin E. S., Salk C., Tigabu M., Syampungani S., Oden P. C. Biological traits of tropical trees suitable for restoration of copper-polluted lands // Ecological Engineering. 2019. No. 138. P. 118–125. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.07.010.
28. Taukach G. W., Pazniak S. S. Contents of chemical elements in soil in the farm farms of Brest region // Ekologicheskii Vestnik. 2015. No. 3. P. 79–88.
29. Chuenkova G. A., Karelin A. O., Askarov R. A., Askarova Z. F. Evaluation of the air pollution health risk for the population of the city of Ufa // Hygiene and sanitation. 2015. Vol. 94. No. 3. P. 24–29.

UDC 635.9: 574:582.579.2

Reut A. A., Beksheneva L. F.

### TOXICANTS OF HAZARD CLASS 1 IN ORNAMENTAL HERBACEOUS PERENNIALS

**Summary.** *Technogenic emission of heavy metals (HM) leads to their accumulation and migration in the “soil–plant” system. Herbaceous perennials dominate among the landscaping components exposed to toxicants. The purpose of the research was to study the accumulation and distribution of elements of hazard class 1 in plants of the genus Iris L. The research was carried out in 2020–2021 in the South-Ural Botanical Garden-Institute. Objects of study: soil of the site and plant organs (Iris orientalis, I. pseudacorus, I. sibirica, I. spuria subsp. carthaliniae). The elemental composition was determined by the atomic absorption method with electrothermal atomization. The distribution of pollutants was evaluated using the biological absorption coefficient (BAC), total cumulation in vegetative and generative, as well as underground and aboveground organs. The content of mobile forms of HM and metalloids in the soil did not exceed the MPC and averaged: Cd – 0.03, As – 0.59, Pb – 0.48 mg/kg. Cadmium distribution in organs depended on the species: both basipetal (I. orientalis – 0.05 mg/kg) and acropetal accumulation of the element (I. spuria subsp. carthaliniae – 0.05 mg/kg) are possible. Accumulation in aboveground organs*

*exceeded cumulation in roots from 1.4 to 7.5 times. BAC values for cadmium differed from 0.27 to 1.56. It was shown that *I. orientalis*, *I. pseudacorus*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae* roots performed a barrier function and accumulated arsenic in amounts exceeding the MPC (0.67–0.85 mg/kg). The root system of *I. sibirica* did not prevent the entry of the toxicant concentrated in the generative organs at a concentration exceeding the MPC (0.61–0.78 mg/kg). The BAC of arsenic in the leaves of all species was <1. Lead uptake was species-independent. Close total elemental values, similar organ distribution and consistently high MPC confirmed that. A predominantly aboveground pollutant concentration was revealed (3.4–5.1). The result of the regression analysis showed the content of the mobile form of lead in soil did not affect its accumulation in leaves.*

**Keywords:** *heavy metals, metalloids, lead, cadmium, arsenic, Iris L., MPC, biological absorption coefficient, translocation coefficient.*

Реут Антонина Анатольевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук; 450080, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, корп. 3; e-mail: cvetok.79@mail.ru.

Бекшенева Лилия Файзиевна, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук; 450080, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, корп. 3; e-mail: flowers-ufa@yandex.ru.

Reut Antonina Anatolyevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of introduction and selection of floral plants, South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UFRC RAS); 195, building 3, Mendeleev str., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450080, Russia; e-mail: cvetok.79@mail.ru.

Beksheneva Liliya Fayzievna, junior researcher of the Laboratory of introduction and selection of floral plants, South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UFRC RAS); 195, building 3, Mendeleev str., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450080, Russia; e-mail: flowers-ufa@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 19.01.2022.*

*Дата принятия к печати – 01.03.2022.*

УДК 631.895;59.64;631.417;631.46;633.16 «321»

EDN PRNANV

Суслов А. А.,<sup>1</sup> Свириденко Д. Г.<sup>1</sup>, Васильева Н. А.<sup>1</sup>, Ефимова Е. С.<sup>1</sup>, Якубовская А. И.<sup>2</sup>

## ДЕЙСТВИЕ «ГУМИТОНА» И МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предполагают внесение питательных веществ путем обработки вегетирующих растений и посевного материала органоминеральными комплексами. Наличие в их составе гуминовых соединений влияет на протекание ферментативных реакций в почве. Фактором, усиливающим почвенные микробиологические процессы трансформации питательных веществ, являются микробные препараты, которыми обрабатывают семена. Цель исследований – оценить влияние нового органоминерального комплекса и микробных препаратов на активность почвенных ферментов в прикорневой зоне растений ярового ячменя в период начального роста. Эксперимент проводили в 2019–2020 гг. в условиях вегетационного опыта лаборатории Агротехнических исследований и технологий ведения растениеводства Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии. Планирование эксперимента, выполнение лабораторных исследований ферментативной активности почвы проводили по общепринятым методикам. Изучали следующие варианты: 1) дерново-подзолистая почва без растений; 2) контроль (обработка семян водой); 3) органоминеральный комплекс «Гумитон»; 4) КМП (комплекс микробных препаратов); 5) комплексная обработка: органоминеральный комплекс «Гумитон» + КМП. Посевной материал ярового ячменя обрабатывали «Гумитоном» и комплексом микробных препаратов (КМП). Показана активизация ферментативной активности почвы при использовании органоминерального комплекса «Гумитон». Предпосевная обработка семян «Гумитоном» и «Гумитоном» в сочетании с КМП стимулировала активность фермента уреазы на 12,9 % (2,4 мг  $\text{NH}_4^+$  / г / 24 ч) в среднем за два года, по сравнению с контролем. Выявлено увеличение активности дегидрогеназы на 7,8 мг ТТХ / г / 24 часа в варианте с органоминеральным комплексом и на 4,1 мг ТТХ / г / 24 часа при совместном применении «Гумитон» + КМП. Применение гуматного препарата увеличило активность инвертазы в среднем за годы исследований на 2,6 мг  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  / г / 24 ч (7,8 %).

**Ключевые слова:** «Гумитон», комплекс микробных препаратов, яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), ферментативная активность, дерново-подзолистая почва.

**Для цитирования:** Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Васильева Н. А., Ефимова Е. С., Якубовская А. И. Действие «Гумитона» и микробных препаратов на ферментативную активность прикорневой зоны ярового ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 145–154. EDN: PRNANV.

**For citation:** Suslov A. A., Sviridenko D. G., Vasilyeva N. A., Efimova E. S., Yakubovskaya A. I. Effect of “Gumiton” and microbial preparations on the enzymatic activity in the rhizosphere of spring barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 145–154. EDN: PRNANV.

### Введение

Результаты многочисленных многолетних полевых экспериментов научных учреждений и опыт работы отдельных регионов показывают, что Россия имеет все возможности для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Внесение минеральных удобрений в условиях Центрального и Северо-

Кавказского федерального округа в дозе 100 кг/га, позволяет получать урожайность зерновых культур до 40 ц/га [1].

Выращивание сельскохозяйственных культур в Нечерноземье требует проведения комплекса агрохимических мероприятий. Почвы данной зоны характеризуются низким уровнем естественного плодородия – содержанием гумуса до 2 %, невысокой обеспеченностью подвижных форм макро- и микроэлементов питания, кислой реакцией почвенного раствора [2].

Данная ситуация усугубляется ежегодным изыманием из почвы питательных веществ с получаемым урожаем. В научных публикациях упоминается, что среднегодовой вынос элементов питания с урожаем может превышать количество вносимого с удобрениями до 17 раз [3]. Для бездефицитного баланса гумуса и элементов питания следует вносить 9–10 т/га навоза и соломы, сравнительно с реально применяемыми (1 т/га) [4]. На дерново-подзолистых почвах следует совмещать применение минеральных и органических удобрений, при этом следует использовать агрохимические мероприятия, которые способствуют увеличению кислотности почвенного раствора (нейтральная и слабокислая среда) [5].

Вносимые минеральные удобрения влияют на биохимические процессы в почве, которые контролируют ферменты. Ферментативная активность микробной биомассы в агроэкосистемах обусловлена агротехнологическими приемами возделывания сельскохозяйственных культур [6].

Основополагающими для оценки биологической активности являются почвенные ферменты из классов гидролаз (инвертаза, фосфатаза, уреазы) и оксидоредуктаз (дегидрогеназа, каталаза) [7–9]. Изменение интенсивности ферментативных процессов происходит под влиянием природных экологически безопасных препаратов и зависит от активности почвенной биоты. К таким препаратам относят гуматные (содержащие водорастворимые гуматы), микробные (имеющие высокоактивные штаммы агрономически полезных микроорганизмов) [10, 11]. Установлены различные механизмы влияния данных препаратов на почвенно-растительное взаимодействие (улучшение посевных качеств семян, стимуляция роста растений, усиление биологической активности почвы, повышение стрессоустойчивости культур) [12–15]. В литературе недостаточно данных о действии современных гуматных препаратов на ферментативные процессы в прикорневой зоне растений.

**Цель исследований** – дать оценку протекания ферментативных процессов в прикорневой зоне ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в период начального роста растений на дерново-подзолистой почве при обработке посевного материала органоминеральным комплексом и микробными препаратами.

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

Вегетационный опыт проводили в январе–феврале 2019 и 2020 гг. в сосудах вместимостью 0,5 кг почвы (по 15 растений в 1 сосуде). Количество повторностей три, в каждой по три сосуда. Культура – сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Владимир. Репродукция семян – первая (урожая 2018 г.) Растения выращивали 21 сутки (начало фазы кущения). Полив растений проводили по 100 мл воды на сосуд один раз в два дня с учетом потребления растениями влаги. Освещенность регулировали путем дополнительного досвечивания к естественному освещению по 2 часа утром и вечером. Температура воздуха – 18–20 °С.

Почва опыта – дерново-подзолистая со следующими агрохимическими характеристиками: рН<sub>KCl</sub> 4,7 (потенциометрическим методом); гидролитическая кислотность – 4,12 мг-экв./100 г почвы (по Каппену в модификации ЦИНАО); содержание гумуса – 1,2 % (по методу Тюрина); содержание подвижного фосфора – 124 мг/кг почвы (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) и обменного калия –

135 мг/кг почвы (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО), Са и Mg – 1,17 и 0,21 мг-экв./100 г почвы (комплексометрическим методом), соответственно [16, 17].

В эксперименте применяли биологически активный органоминеральный комплекс «Гумитон», включающий микроэлементы (бор, марганец, молибден) (разработка ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»), а также комплекс микробных препаратов (КМП), разработанный ФГБУН «НИИСХ Крыма». Запатентованный состав комплекса «Гумитон» разработан на основе торфа и не имеет аналогов в России [18].

Микробный комплекс включает препараты: «Ризоагрин» (на основе ассоциативных азотфиксаторов – *Agrobacterium radiobacter* 204), «Фосфоэнтерин» (на основе фосфатмобилизаторов – *Enterobacter nimipressuralis* 32-3), «Биополицид» (на основе антагонистов фитопатогенов – *Paenibacillus polymyxa* П).

Схема эксперимента:

1. Дерново-подзолистая почва без растений (полив водой без добавления препаратов);
2. Контроль (обработка семян водой);
3. Органоминеральный комплекс «Гумитон» (предпосевная обработка семян из расчета 1 л/га норму);
4. КМП (комплекс микробных препаратов) (предпосевная обработка семян из расчета 100 мл/га норму);
5. Комплексная обработка: органоминеральный комплекс «Гумитон» (предпосевная обработка семян из расчета 1л/га норму) + КМП (комплекс микробных препаратов) (предпосевная обработка семян из расчета 100 мл/га норму).

Дозировка выбрана на основе рекомендаций разработчиков данных препаратов, а также результатов их применения при обработке посевного материала.

Показатели ферментативной активности почвы определяли в прикорневой зоне растений (до 5 см от корневой системы) по окончании эксперимента. Активность почвенной инвертазы определяли колориметрическим методом с использованием динитросалициловой кислоты в качестве реактива на моносахара. Определение уреазной активности проводили с использованием в качестве субстрата 2,3,5-трифенилтетразолия хлористого (ТТХ), переходящего в результате реакции в 2,3,5-трифенилформазан (ТФФ), имеющего малиновую окраску, интенсивность которой определяли фотоколориметрически. Активность ферментов выражали в миллиграммах субстрата на грамм почвы за 24 ч [16, 19, 20].

Для планирования экспериментальной работы и анализа полученных данных использовали методики Б.А. Доспехова [21]. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили с использованием программного пакета MS Excel 2007 с 5 %-ным уровнем значимости результатов методом дисперсионного анализа.

### Результаты и их обсуждение

**Активность почвенных ферментов.** Ферментный пул почв различен и связан комплексом взаимодействующих факторов. Одним из показателей биологической активности почвы является ее ферментативная активность (уреазы, дегидрогеназы, инвертазы) [22]. Активность фермента уреазы отражает азотный режим почвы и коррелирует с активностью ферментов азотного метаболизма [23].

В результате серии экспериментов установлено, что в почве контрольного варианта (без использования препаратов) зафиксировано повышение активности уреазы на 3,2 мг  $\text{NH}_4^+$ /г за 24 ч, по сравнению с почвой без растений (таблица 1). Значение абсолютного контроля указанного показателя (активность фермента уреазы на фоне отсутствия растений и дополнительно вносимых препаратов) составило 15,4 мг  $\text{NH}_4^+$ /г/24 ч. В варианте с применением «Гумитона» отмечено усиление

активности исследуемого фермента на 12,9 %, что объяснимо наличием азотных соединений (12 %) в указанном препарате. Совместное применение органоминерального комплекса с КМП стимулировало активность фермента уреазы на 2,4 мг  $\text{NH}_4^+$ / г/24 ч в среднем за два года по сравнению с контролем.

Результаты проведенных исследований в других странах показывают повышение активности ферментов (в том числе и уреазы) под влиянием гуматных препаратов на основе торфа [24, 25]. При этом величина данного показателя возрастает с увеличением количества вносимого азота [26, 27].

Поскольку «Гумитон» дополнительно содержит азот, то отмечено возрастание активности уреазы.

**Таблица 1 – Активность уреазы в дерново-подзолистой почве прикорневой зоны ячменя обыкновенного при использовании Гумитона и микробных препаратов (вегетационный опыт, среднее за 2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Активность уреазы, мг $\text{NH}_4^+$ / г/24 часа
Почва без растений	15,4
Контроль (обработка семян водой)	18,6
«Гумитон»	21,0
КМП	20,0
«Гумитон» + КМП	21,0
НСР <sub>05</sub>	1,2

Дегидрогеназы играют ключевую роль в дыхании и, по мнению Garcia C. et al. [28], повышение активности данного фермента связано с увеличением общего метаболического состояния почвенной биоты. Дегидрогеназы в почве обеспечивают дегидрогенирование неспецифических органических соединений [28].

Результаты исследований показали, что предпосевная обработка семян органоминеральным комплексом способствовала увеличению активности дегидрогеназы на 65 % относительно контроля (таблица 2). В варианте опыта с применением КМП отмечали незначительную тенденцию к стимуляции активности фермента дегидрогеназы – 4,2 % к контролю, что, вероятно, связано с поглощением микроорганизмами питательных веществ из гуматов. Отмечено, что при совместном применении «Гумитон» + КМП исследуемый показатель увеличивался на 34 % (4,1 мг ТТХ / г/24 ч), по сравнению с контролем. Так как отсутствуют растения, дополнительно не вносили микробные препараты и органоминеральный комплекс, и в почву дополнительно не поступали продукты метаболизма. На процессы снижения дегидрогеназной активности указывают полученные данные – 1,3 мг ТТХ / г/24 часа. Таким образом, можно предположить уменьшение активности дегидрогеназы без дополнительного поступления органических компонентов.

В литературных источниках указано, что использование микробных препаратов обеспечивает активизацию дегидрогеназы [29], вследствие активного роста и развития микробоценоза почвы. В результате усиливается микробная окислительная активность в почвах. В работе Hanna Sulewska с соавт. [30], отмечено, что активность дегидрогеназы повышается при опрыскивании вегетирующих растений биологически активными препаратами [30]. Однако образующиеся дегидрогеназы быстро разлагаются [31]. К подобному выводу мы пришли при анализе наших результатов: при использовании комплекса микробных препаратов (КМП), наблюдалось снижение активности данного фермента.

Фермент инвертаза – показатель биохимической активности почв, участвует в разложении безазотистых органических веществ из группы олигосахаров. Опубликованные результаты исследований указывают, что внесение различных норм

и форм органических и минеральных удобрений приводит к повышению активности инвертазы в почве [31]. Применяемый органоминеральный комплекс содержит органическую составляющую, благодаря чему оказал положительное влияние на инвертазную активность почвы.

**Таблица 2 – Активность дегидрогеназы в дерново-подзолистой почве прикорневой зоны ячменя обыкновенного при использовании «Гумитона» и микробных препаратов (вегетационный опыт, среднее за 2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Активность фермента, мг ТТХ / г/24 часа
Почва без растений	1,3
Контроль (вода)	12,0
«Гумитон»	19,8
КМП	12,5
«Гумитон» + КМП	16,1
НСР <sub>05</sub>	2,7

Полученные результаты по активности инвертазы (минимальное значение – 21,0 мг С<sub>6</sub>Н<sub>12</sub>О<sub>6</sub>/г/24 часа) в почве без растений и без внесения биологически активных препаратов, указывают на низкую активность метаболических процессов. Корневые выделения обеспечили повышение активности данного фермента на 12,2 мг С<sub>6</sub>Н<sub>12</sub>О<sub>6</sub>/г / 24 часа или на 58,1%, относительно абсолютного контроля. Применение гуматного препарата увеличило активность инвертазы в среднем за годы исследований на 2,6 мг С<sub>6</sub>Н<sub>12</sub>О<sub>6</sub>/г/24 ч или на 7,8 %, по сравнению с контролем (таблица 3).

**Таблица 3 – Активность инвертазы в дерново-подзолистой почве прикорневой зоны ячменя обыкновенного при использовании Гумитона и микробных препаратов (вегетационный опыт, среднее за 2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Активность фермента, мг С <sub>6</sub> Н <sub>12</sub> О <sub>6</sub> /г/24 ч
Почва без растений	21,0
Контроль (вода)	33,2
«Гумитон»	35,8
КМП	28,0
«Гумитон» + КМП	30,9
НСР <sub>05</sub>	2,0

Возможно, при совместном применении «Гумитона» + КМП часть органического вещества первого компонента трансформируется в элементы питания для интродуцируемых микроорганизмов второй составляющей. Результаты опыта показали, что комплексное внесение «Гумитона» и микробных препаратов способствует снижению активности фермента инвертазы на 6,9 %, относительно контроля. На наш взгляд, это можно объяснить деятельностью микроорганизмов, которые активно потребляют легкогидролизуемые углеводы, образовавшиеся в результате применения органоминерального комплекса. В варианте с применением «Гумитона» зафиксирована наивысшая активность инвертазы, а внесение двух препаратов достоверно снижало величину этого показателя. Это может указывать на развитие почвенных гетеротрофов и свидетельствует об усилении общей биологической активности.

### Выводы

Установлено, что в почве без растений и внесенных биологически активных препаратов ферментативная активность находится на минимальном уровне.

Зафиксированы значения активности уреазы 15,4 мг  $\text{NH}_4^+$ /г/24 ч, дегидрогеназы – 1,3 мг ТТХ /г/24 ч, инвертазы – 21,0 мг  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ / г/24 часа.

По результатам лабораторных исследований было установлено увеличение показателей ферментативной активности дерново-подзолистой почвы при использовании органоминерального комплекса «Гумитон» и комплекса микробных препаратов. Показано, что предпосевная обработка семян ячменя «Гумитоном» и вариант совместного применения органоминерального комплекса с КМП стимулировали активность фермента уреазы на 2,4 мг  $\text{NH}_4^+$ /г /24 ч (12,6 %) в среднем за два года, по сравнению с контролем. Указанные значения свидетельствуют о наличии активатора азотного метаболизма в «Гумитоне», что может быть обусловлено наличием в его составе мочевины.

Выявлено, что предпосевная обработка семян органоминеральным комплексом способствовала увеличению активности дегидрогеназы на 65 %, а при совместном применении «Гумитон» + КМП исследуемый показатель увеличивался на 34 % в сравнении с контролем, что свидетельствует об усилении общего метаболического состояния почвенной биоты. Активная почвенная микрофлора обеспечивает ускорение биохимических реакций, в результате которых происходит освобождение доступных питательных элементов для растений.

### Литература

1. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
2. Прудников П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах. Брянск: Издательство ГУП «Клинцовская городская типография», 2012. 296 с.
3. Арефьев А. Н., Кузина Е. Е., Кузин Е. Н., Власова Т. А., Зуев В. В., Панасов М. Н. Эффективность использования клиноптилолита для повышения плодородия черноземных почв // *Аграрный научный журнал*. 2017. № 8. С. 3–7.
4. Кузин Е. Е., Арефьев А. Н., Кузин Е. Н. Последствия диатомита и его сочетаний с навозом на плодородие чернозема выщелоченного и урожайность моркови // *Нива Поволжья*. 2019. № 3(52). С. 111–116.
5. *Агрохимия: классический университетский учебник для стран СНГ* // Под ред. Минеева В. Г. М.: Изд-во ВНИИА имени Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Ахмедова З. Н., Рамазанова Н. И. Диагностика состояния почв Дагестана по уровню гидролитических процессов // *Вестник ДГУ*. 2013. Вып. 6. С. 172–175.
7. *Soil microbiology, ecology and biochemistry (4 th ed.)* // Ed. by Eldor A. Paul, 2015. 582 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-415955-6.00001-3.
8. Горобцова О. Н., Хежева Ф. В., Улигова Т. С., Темботов Р. Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // *Почвоведение*. 2015. № 3. С. 347–359. DOI: 10.7868/S0032180X15010074.
9. Гедгафова Ф. В., Улигова Т. С., Горобцова О. Н., Темботов Р. Х. Биологическая активность черноземных почв Центрального Кавказа (в пределах терского варианта пояности Кабардино-Балкарии) // *Почвоведение*. 2015. 12. С. 1474–1482. DOI: 10.7868/S0032180X15120072.
10. Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Арышева С. П., Пименов Е. П., Васильева Н. А., Морозова А. И. Влияние ГЕОТОНа и микробных препаратов на аммонифицирующие и амилитические микроорганизмы прикорневой зоны ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2017. 3. С. 40–44.
11. Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Пименов Е. П., Васильева Н. А. Влияние ГЕОТОНа и микробных препаратов на олиготрофные микроорганизмы в прикорневой зоне ярового ячменя // *Таврический вестник аграрной науки*. 2018. № 3(15). С. 112–120. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.12.
12. Bettoni M., Mogor A., Pauletti V., Goicoechea N., Aranjuelo I., Garmendia I. Nutritional quality and yield of onion as affected by different application methods and doses of humic substances // *J. Food Composit. Anal.* 2016. Vol. 51. P. 37–44. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.06.008.
13. Kulikowska D., Gusiati Z. M., Bulkowska K., Klik B. Feasibility of using humic substances from compost to remove heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) from contaminated soil aged for different periods of time // *J. Hazard. Mater.* 2015. Vol. 300. P. 882–891. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.08.022.



14. Zemanová V., Břendová K., Pavlíková D., Kubátová P., Tlustoš P. Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard // *Plant Soil Environ.* 2017. Vol. 63. P. 322–327. DOI: 10.17221/318/2017-PSE.
15. Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Melnichuk T. N., Radchenko L. A., Gritchin M. V., Radchenko A. F., Smirnova I. I. Influence of polyfunctional complex of microbial preparations on productivity of grain crops // *Материалы Международной научной конференции. «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего»* Уфа: ФГБУН «Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра Российской академии наук», 2018. С. 37.
16. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
17. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. М.: Колос, 2004. 312 с.
18. Патент РФ №2709737. «Биологически активный органоминеральный комплекс и способ его получения» // Санжарова Н. И., Петров К. В., Ратников А. Н., Свириденко Д. Г., Суслов А. А., Иванов И. А., Иванкин Н. Г. Бюлл. № 35. 19.12.19. 6 с.
19. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
20. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энтомологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 336 с.
22. Хазиев Ф. Х. Экологические связи ферментативной активности почв // *Экобиотех.* 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92. DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92.
23. Utobo E. B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // *Applied Ecology and Environmental Research.* 2014. Vol. 13(1). P. 147–169. DOI:10.15666/aer/1301\_147169.
24. Gul S., Whalen J. K., Thomas B. W., Sachdeva V., Deng H. Y. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2015. Vol. 206. P. 46–59. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.015.
25. Khodadad C. L. M., Zimmerman A. R., Green S. J., Uthandi S., Foster J. S. Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments // *Soil Biology and Biochemistry.* 2011. Vol. 43. P. 385–392. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.11.005.
26. Pukalchik M. A., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Kydralievа K. A., Akulova M. I. Triad method for assessing the remediation effect of humic preparations on urbanozems // *Euras. Soil Sci.* 2015. Vol. 48. P. 654–663. DOI: 10.1134/S1064229315060083.
27. Garcia C., Hernandez T., Costa F. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1997. Vol. 28 (1-2). P. 123–134. DOI: 10.1080/00103629709369777.
28. Gałązka A., Gawryjolek K., Perzyński A., Gałązka R., Księżnak J. Changes in enzymatic activities and microbial communities in soil under long-term maize monoculture and crop rotation // *Polish Journal of Environmental Studies.* 2017. Vol. 26. P. 39–46. DOI:10.15244/pjoes/64745.
29. Sulewska H., Niewiadomska A., Ratajczak K., Budka A., Panasiewicz K., Faligowska A., Wolna-Maruwka A., Dryjanski L. Changes in *Pisum sativum* L. plants and in soil as a result of application of selected foliar fertilizers and biostimulators // *Agronomy.* 2020. Vol. 10. Art. No. 1558. DOI: 10.3390/agronomy10101558.
30. Супрун С. В. Влияние антропогенных факторов на плодородие почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: ГНУ «Научно-исследовательский ордена Трудового Красного Знамени Институт сельского хозяйства Центрально-Чернозёмной полосы имени В. В. Докучаева Российской академии сельскохозяйственных наук», 2008. 23 с.
31. Попова В. П. Агроэкологические аспекты формирования продуктивных садовых экосистем. Краснодар: ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 2005. 242 с.

## References

1. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation // *Agrochimia.* 2020. No. 6. P. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
2. Prudnikov P. V. The use of agronomic ores and new complex mineral fertilizers on radioactively contaminated soils. Bryansk: Publishing House of State Unitary Enterprise “Klintsovskaya City Printing House”, 2012. 296 p.
3. Arefyev A. N., Kuzina E. E., Kuzin E. N., Vlasova T. A., Zuev V. V., Panasov M. N. The efficiency of using clinoptilolite on chernozem soils // *The Agrarian Scientific Journal.* 2017. No. 8. P. 3–7.
4. Kuzina E. E., Arefyev A. N., Kuzin E. N. Aftereffect of diatomite and its combinations with manure on the fertility of leached black cherozem and carrot yield // *Volga Region Farmland.* 2019. No. 3 (52). P. 65–69. DOI: 10.26177/VRF.2019.3.3.013.
5. *Agrochemistry: Classic university textbook for CIS countries* // Ed. by V.G. Mineev. Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry Publ., 2017. 854 p.

6. Akhmedova Z. N., Ramazanova N. I. Diagnosis of the state of the soils of Dagestan by the level of hydrolytic processes // Herald of Dagestan State University. 2013. Iss. 6. P. 172–175.
7. Soil microbiology, ecology and biochemistry (4<sup>th</sup> ed.) // Ed. by Eldor A. Paul, 2015. 582 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-415955-6.00001-3.
8. Gorobtsova O. N., Khezheva F. V., Uligova T. S., Tembotov R. Kh. Ecological and geographical regularities of changes in the biological activity of automorphic soils of the foothills and adjacent plains of the Central Caucasus Region (Kabardino-Balkarian Republic) // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 3. P. 303–313. DOI: 10.1134/S106422931501007X.
9. Gedgafova F. V., Uligova T. S., Gorobtsova O. N., Tembotov R. Kh. The biological activity of chernozems in the Central Caucasus Mountains (Terskii variant of altitudinal zonality), Kabardino-Balkaria // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 12. P. 1341–1348. DOI: 10.1134/S1064229315120078.
10. Suslov A. A., Sviridenko D. G., Arysheva S. P., Pimenov E. P., Vasilyeva N. A., Morozova A. I. Effect of GEOTON and microbial preparations on the ammonifying and amylolytic microorganisms of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) rhizosphere // Problemy agrohimii i ekologii. 2017. No. 3. P. 40–44.
11. Suslov A. A., Sviridenko D. G., Pimenov E. P., Vasilyeva N. A. Effect of ‘GEOTON’ and microbial preparations on oligotrophic microorganisms in the rhizosphere of spring barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 3 (15). P. 112–120. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.12.
12. Bettoni M., Mogor A., Pauletti V., Goicoechea N., Aranjuelo I., Garmendia I. Nutritional quality and yield of onion as affected by different application methods and doses of humic substances // J. Food Compos. Anal. 2016. Vol. 51. P. 37–44. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.06.008.
13. Kulikowska D., Gusiatin Z. M., Bulkowska K., Klik B. Feasibility of using humic substances from compost to remove heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) from contaminated soil aged for different periods of time // J. Hazard. Mater. 2015. Vol. 300. P. 882–891. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.08.022.
14. Zemanová V., Břendová K., Pavlíková D., Kubátová P., Tlustoš P. Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard // Plant Soil Environ. 2017. Vol. 63. P. 322–327. DOI: 10.17221/318/2017-PSE.
15. Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Melnichuk T. N., Radchenko L. A., Gritchin M. V., Radchenko A. F., Smirnova I. I. Influence of polyfunctional complex of microbial preparations on productivity of grain crops // Proceedings of the International Scientific Conference. “Plants and microorganisms: biotechnology of the future”. Ufa: Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 2018. P. 37.
16. Mineev V. G. Workshop on Agrochemistry. Moscow: Moscow State University Publ., 2001. 689 p.
17. Piskunov A. S. Methods of agrochemical research. Moscow: Kolos, 2004. 312 p.
18. Patent RF No.2709737. “Biologically active organic mineral complex and the method of its production”// Sanzharova N.I., Petrov K.V., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Suslov A.A., Ivanov I.A., Ivankin N.G. Bull. No. 35, Publ. 19.12.19. 6p.
19. Titova V. I., Kozlov A. V. Methods for assessing the functioning of the microbocenosis of soil involved in the transformation of organic matter: Scientific and methodological manual. Nizhny Novgorod: Nizhegorodsk Agricultural Academy, 2012. 64 p.
20. Khaziev F. Kh. Methods of soil entomology. Moscow: Nauka, 2005. 252 p.
21. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1985. 336 p.
22. Khaziev F. Kh. Ecological relations of the enzymatic activity of soil // Ecobiotech. 2018. Vol. 1. No. 2. P. 80–92. DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92
23. Utobo E. B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // Applied Ecology and Environmental Research. 2014. Vol. 13(1). P. 147–169. DOI:10.15666/aer/1301\_147169.
24. Gul S., Whalen J. K., Thomas B. W., Sachdeva V., Deng H. Y. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2015. Vol. 206. P. 46–59. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.015.
25. Khodadad C. L. M., Zimmerman A. R., Green S. J., Uthandi S., Foster J. S. Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments // Soil Biology and Biochemistry. 2011. Vol. 43. P. 385–392. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.11.005.
26. Pukalchik M. A., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Kydraliev K. A., Akulova M. I. Triad method for assessing the remediation effect of humic preparations on urbanozems // Euras. Soil Sci. 2015. Vol. 48. P. 654–663. DOI: 10.1134/S1064229315060083.
27. Garcia C., Hernandez T., Costa F. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1997. Vol. 28 (1-2). P. 123–134. DOI: 10.1080/00103629709369777.
28. Gałązka A., Gawryjołek K., Perzyński A., Gałązka R., Księżnak J. Changes in enzymatic activities and microbial communities in soil under long-term maize monoculture and crop rotation // Polish Journal of Environmental Studies. 2017. Vol. 26. P. 39–46. DOI:10.15244/pjoes/64745.

29. Sulewska H., Niewiadomska A., Ratajczak K., Budka A., Panasiewicz K., Faligowska A., Wolna-Maruwka A., Dryjanski L. Changes in *Pisum sativum* L. plants and in soil as a result of application of selected foliar fertilizers and biostimulators // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. Art. No. 1558. DOI: 10.3390/agronomy10101558.

30. Suprun S. V. Influence of anthropogenic factors on soil fertility, yield and quality of sugar beet roots. Author's Abstract Diss ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: SSE "The Labor Red Banner Order Research Institute of Agriculture of the Central Chernozem Strip named after V.V. Dokuchaev, Russian Academy of Agricultural Sciences", 2008. 23 p.

31. Popova V. P. Agroecological aspects of the formation of productive garden ecosystems. Krasnodar: FSBSI "North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making", 2005. 242 p.

UDC 631.895;579.64;631.417;631.46;633.16«321»

Suslov A. A., Sviridenko D. G., Vasilyeva N. A., Efimova E. S., Yakubovskaya A. I.

### EFFECT OF "GUMITON" AND MICROBIAL PREPARATIONS ON THE ENZYMATIC ACTIVITY IN THE RHIZOSPHERE OF SPRING BARLEY

**Summary.** *Modern crop growing technologies, among others techniques, include the nutrients balanced amount application treating plants and seeds with organomineral complexes. Humic compounds in their composition affect enzymatic reactions in the soil. Microbial preparations used to treat seeds are the factor that enhances soil microbiological processes of nutrient transformation. The aim of the research was to assess the effect of new organomineral complex and microbial preparations on the activity of soil enzymes in the *Hordeum vulgare* L. rhizosphere during the initial growth. The experiment was conducted in 2019–2020 under conditions of the vegetative experiment at the Laboratory of Agrochemical Research and Crop Technology of the All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology. Experiment planning and laboratory studies of the enzymatic activity of soil were carried out according to conventional methods. We studied the following options: 1) sod-podzolic soil without plants; 2) control (treatment of seeds with water); 3) organomineral complex "Gumiton"; 4) CMP (complex of microbial preparations); 5) complex treatment: organomineral complex "Gumiton" + CMP. Seed material of spring barley was treated with "Gumiton" and a complex of microbial preparations. The activation of the enzymatic activity of soil when using the organomineral complex "Gumiton" was shown. On average, for two years of research, presowing seed treatment with "Gumiton" alone and in combination with CMP stimulated urease activity by 12.9 % (2.4 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/g/24 h) compared to control. An increase in the dehydrogenase activity by 7.8 and 4.1 mg TTX/g/24 h in the variant with the organomineral complex and "Gumiton" + CMP, respectively, was revealed. On average, over the years of studies, humate preparation increased invertase activity by 2.6 mg C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>/g/24 hours (7.8%).*

**Keywords:** "Gumiton", complex of microbial preparations, spring barley (*Hordeum vulgare* L.), enzymatic activity, sod-podzolic soil.

Суслов Алексей Афанасьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимических исследований и технологий ведения растениеводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: ecology2003@ukr.net.

Свириденко Дмитрий Георгиевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимических исследований и технологий ведения растениеводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: iglina-lv@mail.ru.

Васильева Наиля Анатольевна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии

и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: nellyanat@yandex.ru.

Ефимова Екатерина Сергеевна младший научный сотрудник лаборатории микробиологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: ekaterinaveronika2019@yandex.ru

Якубовская Алла Ивановна кандидат биологических наук, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yakubovskaya\_alla@mail.ru.

Suslov Aleksey Afanasievich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, leading researcher of the Laboratory of agrochemical research and crop technology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: ecology2003@ukr.net.

Sviridenko Dmitriy Georgievich, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of agrochemical research and crop technology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: iglina-lv@mail.ru.

Vasilyeva Nailya Anatolievna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of microbiology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: nellyanat@yandex.ru.

Efimova Ekaterina Sergeevna, junior researcher of the Laboratory of microbiology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: ekaterinaveronika2019@yandex.ru.

Yakubovskaya Alla Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: yakubovskaya\_alla@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 27.03.2021.*

*Дата принятия к печати – 20.01.2022.*

УДК 633.85  
EDN QBLDVV

Турина Е. Л.<sup>1</sup>, Ефименко С. Г.<sup>2</sup>, Турин Е. Н.<sup>1</sup>

## УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО МАСЛА РЫЖИКА ЯРОВОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ СЕВА И НОРМ ВЫСЕВА В КРЫМУ

<sup>1</sup> ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

<sup>2</sup> ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта»

**Реферат.** *Camelina sativa* вызывает интерес во всем мире благодаря экологической пластичности и широкому спектру применений масла. Цель исследований – определение оптимальных параметров элементов технологии возделывания рыжика ярового в условиях Центральной степи Крыма на примере сорта Юбилар. Исследования проводили в 2019–2021 гг. на опытном поле отделения полевых культур НИИСХ Крыма, согласно методике опытного дела Б. А. Доспехова. Схема опыта включала следующие варианты: срок сева (фактор А) – при первой возможности выхода в поле; вторая декада марта; третья декада марта; нормы высева (фактор В): 5, 6, 7, 8, 9 млн всхожих семян на гектар. Посев рыжика ярового первого срока сева (при первой возможности выхода в поле) в 2019 г. был проведен четвертого февраля, в 2020 г. – второго марта, в 2021 г. – шестого марта. Установлено, что вегетационный период рыжика ярового в условиях Центральной степи Крыма в среднем составляет 97–100 дней. Наибольшая полевая всхожесть семян отмечена при раннем сроке сева и в зависимости от нормы высева она варьировала от 62,7 до 66,3 %. При посеве рыжика в первой декаде апреля полевая всхожесть снижалась – 42,8–44,9 %. Наибольшая урожайность семян культуры при посеве в первый срок получена с нормами высева 7–8 млн шт./га – 4,3–4,4 ц/га. В неблагоприятные по погодным условиям годы (воздушная и почвенная засуха) при посеве рыжика в первой декаде апреля растения могут не образовывать в стручках семена. Масличность семян зависела от срока сева – наибольшего значения она достигала при посеве в первый срок и, в зависимости от условий года, составила 33,55–41,94 %. Композиция жирных кислот масла рыжика ярового позволяет использовать его в производстве продуктов питания, косметики и нутрицевтиков.

**Ключевые слова:** рыжик яровой (*Camelina sativa*), урожайность, масличность, жирнокислотный состав, токоферолы.

**Для цитирования:** Турина Е. Л., Ефименко С. Г., Турин Е. Н. Урожайность и качество масла рыжика ярового в зависимости от сроков сева и норм высева в Крыму // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 155–165. EDN: QBLDVV.

**For citation:** Turina E. L., Efimenko S. G., Turin E. N. Spring *Camelina sativa* yield and oil quality under conditions of the Crimean Peninsula depending on planting date and seeding rate // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 155–165. EDN: QBLDVV.

### Введение

За последние десятилетия климат Земли изменился: увеличилась частота и интенсивность экологических стрессов, в первую очередь засух, что негативно влияет на сельскохозяйственное производство [1, 2]. Предполагается, что к 2050 г. засуха затронет более 50 % пахотных земель [3]. Учитывая, что население к этому времени может возрасти до девяти миллиардов, увеличение сельскохозяйственной продукции для обеспечения продовольственной безопасности становится актуальной научной задачей.

В Крыму аридность климата и прекращение работы Северо-Крымского канала делают необходимым пересмотр существовавшей ранее в регионе структуры посевных площадей и изучение жаро- и засухоустойчивых растений.

Рыжик – представитель семейства Brassicaceae, характеризуется высокой адаптацией к различным климатическим условиям и устойчивостью к болезням и вредителям [4]. Благодаря уникальной композиции жирных кислот, масло рыжика широко используют в производстве биополимеров, косметики, биотоплива, в пищевой промышленности, а также в качестве ингредиента кормов для животных и рыб [5]. Известны пищевые и вкусовые преимущества масла рыжика, о чем свидетельствует его использование в кулинарии, фитотерапии (для лечения ран, ожогов, язв желудка и воспалений глаз), в качестве диетического масла для восполнения дефицита омега-3 жирных кислот.

В мире рыжик не выращивают в больших масштабах, посевные площади этой культуры очень варьируют по годам, что обуславливает сложности со сбором точных статистических данных [6]. В то же время, благодаря универсальности применения масла и неприхотливости к условиям внешней среды, рыжик все больше привлекает внимание со стороны научного сообщества; его возделывают во многих уголках мира.

Разработанная технология возделывания озимого рыжика для условий Центральной степи Крыма позволяет получать в среднем 1,32–1,35 т/га ценных семян масличностью до 43 % [7]. Озимый рыжик хорошо зарекомендовал себя на полях Крыма и с 2019 г. его возделывают на производственных площадях. Однако информация о возможной урожайности семян и качестве получаемого масла рыжика ярового (*Camelina sativa*) в зависимости от сроков сева и норм высева в условиях Крыма отсутствует.

**Цель исследований** – определение оптимальных параметров элементов технологии возделывания рыжика ярового (*Camelina sativa*) на примере сорта Юбиляр в условиях Центральной степи Крыма.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- установить длительность вегетационного периода рыжика ярового;
- определить полевою всхожесть семян в зависимости от сроков сева;
- выявить влияние различных сроков сева и норм высева на урожайность семян культуры в условиях Центральной степи Крыма;
- выявить зависимость качества масла (его жирнокислотного состава и содержания токоферолов) от сроков сева.

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

Экспериментальную работу по изучению элементов технологии возделывания рыжика ярового проводили в 2019–2021 гг. на опытном поле отделения полевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма». Предмет исследований – сорт рыжика ярового Юбиляр.

Схема опыта: сроки сева (фактор А) – при первой возможности выхода в поле; вторая декада марта; третья декада марта; нормы высева (фактор В): 5, 6, 7, 8, 9 млн всхожих семян на гектар. Посев рыжика ярового первого срока сева (при первой возможности выхода в поле) в 2019 г. был проведен четвертого февраля, в 2020 г. – второго марта, в 2021 г. – шестого марта.

Уход за растениями (борьба с сорной растительностью) осуществляли вручную. Специфических вредителей и болезней рыжика за время исследований не обнаружено.

Полевые опыты закладывали с применением методики опытного дела Б. А. Доспехова [8]. Повторность опытов четырехкратная, учётная площадь делянки 25 м<sup>2</sup>, предшественник – яровой ячмень. Сев проводили сплошным рядовым способом селекционной сеялкой СКС-6-10 в установленные опытом сроки, уборку – комбайном Wintersteiger Classic в фазе полной спелости семян. Учеты и наблюдения в

период вегетации рыжика осуществляли на основе методики проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами [9].

Почва опытного участка – чернозем южный, слабогумусированный на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах, типичен для Центральной степи Крыма. В среднем в пахотном слое содержалось подвижного фосфора (по Мачигину) – 5,42 мг/100 г почвы, калия (по Мачигину) – 35 мг/100 г почвы, количество гумуса (по Тюрину) составляло 2,34 %.

Климат Центральной степи Крыма – континентальный с годовым количеством осадков 426 мм. Погодные условия в годы проведения экспериментов отличались как по температурному режиму, так и по количеству осадков (рисунки 1, 2).

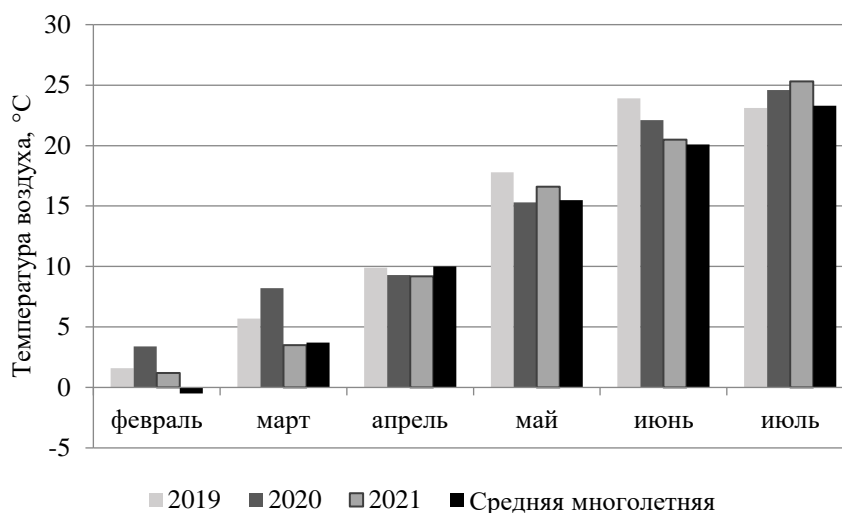


Рисунок 1 – Температура воздуха по данным метеостанции Клепинино в период вегетации рыжика ярового

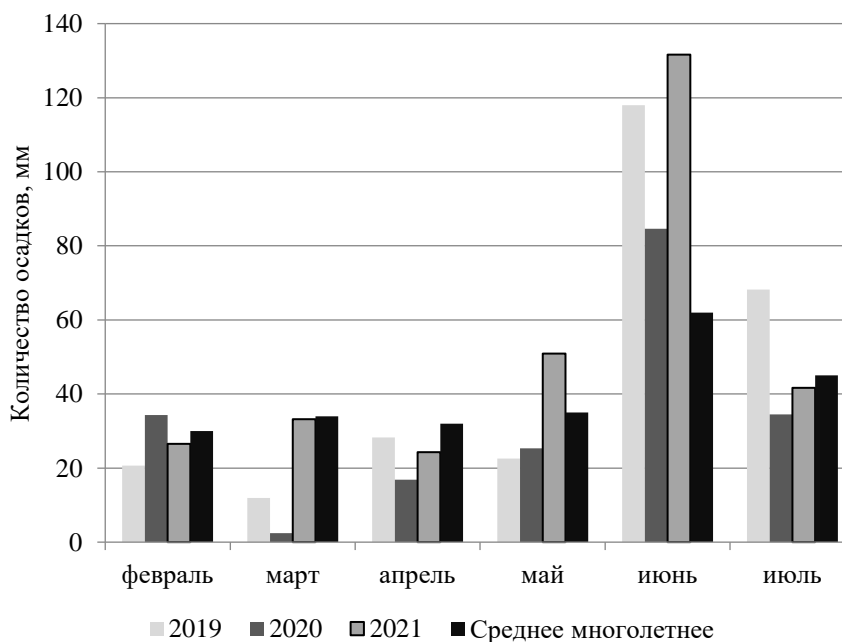


Рисунок 2 – Количество осадков по данным метеостанции Клепинино в период вегетации рыжика ярового

Условия 2019 г. характеризовались как удовлетворительные для роста и развития рыжика ярового. Начальные этапы развития растений проходили при сухой теплой погоде. В апреле выпало 28,3 мм осадков, в мае – 22,6 мм, что несколько ниже среднееголетних показателей. Температура воздуха в июне была самой высокой за годы исследований, превысив среднееголетний показатель (20,1 °С) на 3,8 °С. Выпавшие ливневые осадки в количестве 118 мм (190,3 % от нормы) обеспечили режим избыточного увлажнения.

Погодные условия 2020 г. были неблагоприятными. Март был самым теплым и сухим за годы исследований. Температура воздуха значительно (на 4,5 °С) превысила среднееголетние данные (3,7 °С) на фоне острого дефицита осадков, за месяц выпало 2,4 мм, что соответствовало 7 % от нормы. В апреле и мае осадков тоже было недостаточно – выпало 16,9 и 25,3 мм соответственно, что на 52,8 и 27,7 % меньше среднееголетних показателей. Июнь характеризовался повышенным температурным режимом с осадками во второй и третьей декадах. В среднем за месяц температура воздуха была на 2 °С выше нормы и составила 22,1 °С. Осадки выпали в количестве 82,6 мм, что составило 136,4 % от месячной нормы. До выпадения осадков предшествовал период без хозяйственно-полезных дождей (10 мм и более) продолжительностью 50 дней.

Условия 2021 г. сложились для растений рыжика неоднозначно. Гидротермический режим марта соответствовал среднееголетним показателям. Апрель был достаточно влажным (ГТК = 1,7) благодаря низким температурам (9,2 °С при норме 10 °С) и осадкам 24,3 мм. Такая ситуация способствовала дружному появлению всходов рыжика первых двух сроков сева. Май характеризовался как теплый, температура воздуха составила 16,6 °С, превысив среднееголетний показатель на 1,1 °С. Основные осадки в количестве 45,9 мм выпали в конце месяца. Июнь отличался избыточным увлажнением, выпало 131,6 мм, превысив среднееголетний показатель на 112,2 %. В отличие от июня 2019 г. осадки не носили ливневый характер, были длительными, что, вероятно, оказало влияние на осыпаемость семян культуры.

Запасы продуктивной влаги на момент посева рыжика ярового предоставлены в таблице 1. Влажность почвы рассчитывали термостатно-весовым методом [10]. Согласно градации, в 2019 г. при посеве рыжика в первый срок и в третьей декаде марта запасы доступной влаги в почве в слоях 0–10 и 0–100 характеризовались как удовлетворительные, в остальные годы – как плохие.

Запасы продуктивной влаги при посеве культуры в первой декаде апреля 2019 г. оценивали как удовлетворительные, а в 2020 г. в слоях 0–10 и 0–100 см и 2021 г. в слое 0–10 см – как плохие.

**Таблица 1 – Запасы продуктивной (доступной) влаги в почве перед посевом рыжика ярового в разные сроки**

Срок сева	Слой почвы, см	Запасы продуктивной влаги, мм		
		2019 г.	2020 г.	2021 г.
При первой возможности выхода в поле	0–10	22,9	7,9	8,6
	0–100	99,4	64,5	62,5
Третья декада марта	0–10	19,4	3,9	9,9
	0–100	96,1	62,2	64,5
Первая декада апреля	0–10	10,1	2,1	10,7
	0–100	90,9	47,4	62,0

Жирнокислотный состав масла рыжика определяли по ГОСТ 31663-2012 и ГОСТ 31665-2012; исследование содержания биологически активных веществ (токоферола) в масле проводили, используя метод тонкослойной хроматографии и спектроскопии [11] в лаборатории биохимии ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК



«Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (для определения брали средние образцы семян с делянок с различными сроками сева при норме высева 7 млн шт./га).

### Результаты и их обсуждение

Установлено, что вегетационный период рыжика ярового в условиях Центральной степи Крыма в среднем составляет 97–100 дней (таблица 2). При этом всходы культуры появляются в среднем через 14–16 дней, но ежегодно этот показатель зависел от конкретных погодных условий, складывающихся в предпосевной период.

**Таблица 2 – Продолжительность межфазных и вегетационного периодов рыжика ярового, суток (в среднем за 2019–2021 гг.)**

Срок сева	Продолжительность периодов вегетации, дней			
	посев–всходы	всходы–цветение	цветение–спелость	всходы–спелость
Первый	16	45	52	97
Второй	14	46	54	100
Третий	16	43	54	97

Определено, что наиболее высокая полевая всхожесть семян рыжика ярового достигается при раннем сроке сева – 62,7–66,3 %, что обусловлено более благоприятными условиями увлажнения почвы ко времени сева культуры (таблица 3). При посеве в третьей декаде марта полевая всхожесть в зависимости от нормы высева снижалась до 54,7–59,6 %, в первой декаде апреля – до 42,8–44,9 %. Таким образом, более поздний сев способствует снижению полевой всхожести рыжика.

**Таблица 3 – Полевая всхожесть растений рыжика ярового, %**

Срок сева (фактор А)	Норма высева семян, млн шт./га	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за три года
При первой возможности выхода в поле	5	65,4	56,3	66,3	62,7
	6	66,6	56,8	66,1	63,2
	7	66,8	59,7	67,4	64,6
	8	67,9	61,3	68,5	65,9
	9	69,4	61,0	68,4	66,3
Среднее по фактору А1		67,22	59,02	67,28	
Третья декада марта	5	58,9	42,9	62,2	54,7
	6	59,9	43,6	64,2	55,9
	7	59,8	43,9	64,4	56,0
	8	63,2	45,6	66,3	58,4
	9	63,9	48,0	66,9	59,6
Среднее по фактору А2		61,14	44,80	64,80	
Первая декада апреля	5	46,9	34,9	46,6	42,8
	6	47,9	35,9	48,4	44,1
	7	48,2	36,0	48,9	44,4
	8	48,8	36,6	49,0	44,8
	9	48,9	36,0	49,9	44,9
Среднее по фактору А3		48,14	35,88	48,56	
Среднее по фактору В1		57,07	44,70	58,37	
Среднее по фактору В2		58,13	45,43	59,57	
Среднее по фактору В3		58,27	46,50	60,23	
Среднее по фактору В4		59,97	47,80	61,27	
Среднее по фактору В5		60,73	48,33	61,73	
НСР <sub>05</sub> А		6,01	3,05	3,41	
НСР <sub>05</sub> В		$B = F_{\text{факт.}} < F_{05}$	$B = F_{\text{факт.}} < F_{05}$	$B = F_{\text{факт.}} < F_{05}$	
НСР <sub>05</sub> АВ		9,91	7,14	6,22	

Результаты наших исследований показали, что рыжик яровой – малопродуктивная культура для Крыма. Так, наибольшая его урожайность была получена в 2019 г. при посеве в самый ранний срок – в среднем 6,36 ц/га (таблица 4). Урожайность семян при посеве во второй срок снизилась на 45,6 %, в третий срок – на 72,6 %. В условиях 2019 г. нормы высева не оказали влияния на этот показатель.

В засушливом 2020 г. урожайность семян рыжика была очень низкой и максимального значения она достигла при посеве в 1 срок – 2,58 ц/га, при посеве во второй срок она снизилась на 53,5 %. Наиболее оптимальными нормами высева при посеве культуры были 6–8 млн шт./га, что позволило получить в среднем по фактору В 1,26–1,40 ц/га. Из контролируемых факторов, влияющих на урожайность, наиболее значимым был фактор А (срок сева), доля его влияния составила 0,96 %. Доля фактора В (норма высева) была незначительной – 0,03 %.

Необходимо уточнить, что в условиях 2020 г. растения, посев которых был произведен в первой декаде апреля, семена не сформировали. Мы предполагаем, что из-за жестких погодных условий (воздушной и водной засухи) произошла стерилизация цветков.

**Таблица 4 – Урожайность рыжика ярового сорта Юбиляр в зависимости от срока сева и нормы высева, ц/га**

Срок сева (фактор А)	Норма высева семян, млн шт./га (фактор В)	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за три года
При первой возможности выхода в поле	5	5,2	2,3	2,6	3,4
	6	5,6	2,6	2,6	3,6
	7	7,4	2,9	2,9	4,4
	8	6,9	2,7	3,4	4,3
	9	6,7	2,4	3,1	4,1
Среднее по фактору А1		6,36	2,58	2,92	
Третья декада марта	5	3,5	1,1	2,1	2,2
	6	3,5	1,3	2,4	2,4
	7	3,5	1,4	2,4	2,4
	8	3,4	1,1	2,9	2,5
	9	3,4	1,1	2,8	2,4
Среднее по фактору А2		3,46	1,20	2,52	
Первая декада апреля	5	1,7	0,0	2,1	1,3
	6	1,8	0,0	2,1	1,3
	7	1,6	0,0	2,3	1,3
	8	2,0	0,0	2,4	1,4
	9	1,6	0,0	2,4	1,3
Среднее по фактору А3		1,74	0,00	2,24	
Среднее по фактору В1		3,46	1,13	2,26	
Среднее по фактору В2		3,63	1,30	2,37	
Среднее по фактору В3		4,16	1,40	2,53	
Среднее по фактору В4		4,10	1,26	2,87	
Среднее по фактору В5		3,90	1,16	2,76	
НСР <sub>05</sub> А		0,45	0,11	0,02	
НСР <sub>05</sub> В		В = F <sub>факт.</sub> < F <sub>05</sub>		0,14	0,02
НСР <sub>05</sub> АВ		АВ = F <sub>факт.</sub> < F <sub>05</sub>		0,24	0,05

Несмотря на значительное количество осадков, выпавших за май и июнь 2021 г., урожайность рыжика также оставалась низкой. Известно, что рыжик яровой является засухоустойчивой культурой, которая с момента прорастания до цветения предъявляет незначительные требования к влаге [12]. Однако недостаток влаги в период цветения он переносит плохо – сокращает период вегетации, образует мало побегов, в результате чего снижается продуктивность семян. Фаза цветения растений первых двух сроков сева в

2021 г. началась в первую декаду мая и продолжалась примерно 20 дней. Этот период характеризовался устойчивой жаркой погодой с незначительным количеством осадков (в первую декаду мая выпало 2,4 мм, во вторую – 2,6 мм). Продолжительные дожди, которые пришлось на период конец мая – июнь уже не оказали значительного влияния на урожайность культуры первых двух сроков сева.

Благодаря низкой полевой всхожести урожайность семян рыжика ярового третьего срока сева также была низкой – в среднем 2,24 ц/га. Еще одним значительным недостатком, приведшим к невысокой продуктивности рыжика в 2021 г., была осыпаемость семян. Стоит отметить, что эта особенность проявилась на делянках со всеми сроками сева только в 2021 г. и связана, вероятно, с погодными условиями.

Установлено, что содержание жира в семенах рыжика ярового выше при раннем сроке сева и в зависимости от условий года составило от 31,06 до 41,94 % (таблица 5). Вследствие невысокой урожайности семян сбор масла ярового рыжика с единицы площади также был незначителен и в среднем составил 0,45–1,56 ц/га.

**Таблица 5 – Масличность и сбор масла рыжика ярового в зависимости от срока сева**

Срок сева	Масличность, %				Сбор масла, ц/га			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
При первой возможности выхода в поле	41,94	33,55	40,72	38,74	2,76	0,87	1,05	1,56
Третья декада марта	41,02	33,01	39,98	38,00	1,28	0,41	0,85	0,85
Первая декада апреля	40,12	31,06	38,03	36,40	0,57	0,00	0,78	0,45

Более 90 % жирных кислот в рыжиковом масле ненасыщенные (таблица 6).

**Таблица 6 – Жирнокислотный состав масла рыжика ярового в зависимости от срока сева (среднее за 2019–2021 г.), %**

Кислота	При первой возможности выхода в поле	Третья декада марта	Первая декада апреля
Миристиновая	0,05	0,05	0,06
Пальмитиновая	5,21	5,24	5,71
Пальмитолеиновая	0,08	0,09	0,11
Стеариновая	2,14	2,15	2,29
Олеиновая	15,18	15,14	15,89
Линолевая	18,17	19,09	21,31
Линоленовая	34,65	33,60	30,31
Арахидиновая	1,50	1,64	1,83
Эйкозеновая	14,49	14,27	14,05
Эйкозодиеновая	2,06	2,06	1,97
Эйкозатриеновая	1,38	1,30	1,03
Бегеновая	0,34	0,37	0,42
Эруковая	3,24	3,42	3,46
Докозодиеновая	0,18	0,19	0,20
Докозатриеновая	0,52	0,54	0,48
Лигноцериновая	0,20	0,22	0,22
Селахолевая	0,61	0,63	0,64
ненасыщенные	90,56	90,33	89,45
полиненасыщенные	56,96	56,78	55,30
Омега-3	36,03	34,9	31,34

Основными жирными кислотами являются линоленовая (30,31–34,65 %), линолевая (18,17–21,31 %), олеиновая (15,14–15,89 %) и эйкозеновая (14,05–14,49 %). К ненасыщенным относятся пальмитолеиновая, олеиновая, линолевая, линоленовая, эйкозеновая, эйкозодиеновая, эйкозатриеновая, эруковая, докозодиеновая, докозатриеновая и селахолевая жирные кислоты. Из представленных ненасыщенных жирных кислот только две относятся к омега-3 кислотам –

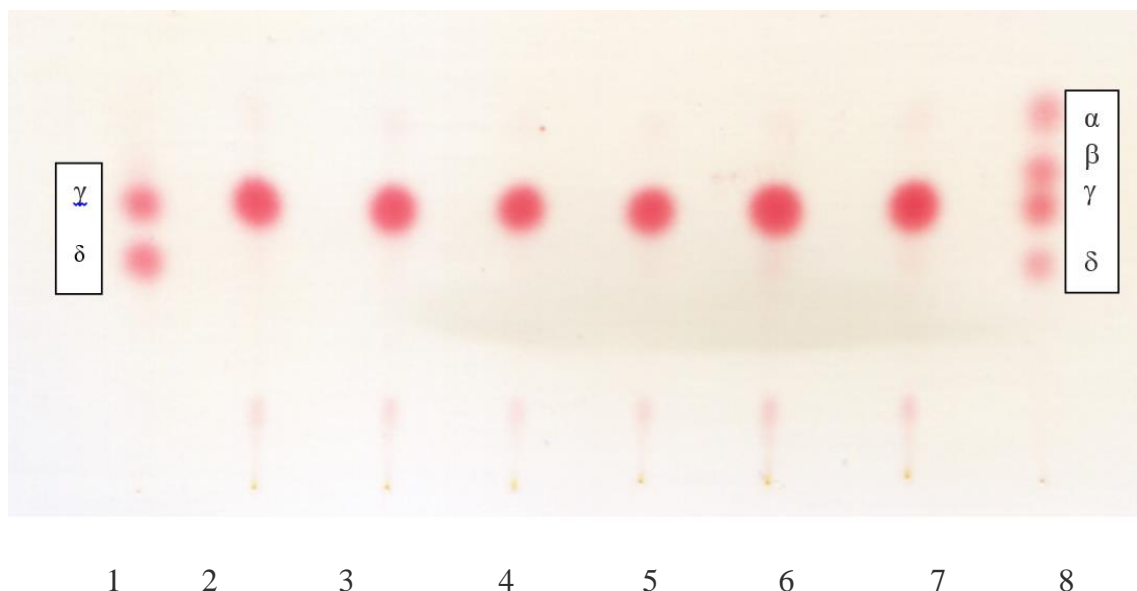
линоленовая и эйкозатриеновая. Содержание эруковой кислоты в масле составило по срокам сева от 3,24 до 3,46 %, что делает возможным потребление масла человеком. Таким образом, композиция жирных кислот позволяет использовать масло рыжика в различных сферах народного хозяйства, в том числе на пищевые цели и в качестве нутрицевтика.

Растительное масло рыжика ярового содержит такие ценные сопутствующие жиру соединения, как токоферолы (витамин Е) (таблица 7). Считают, что благодаря своему антиоксидантному потенциалу токоферолы снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний и некоторых видов рака у человека [13]. Кроме того, токоферолы защищают полиненасыщенные жирные кислоты от окислительных процессов и способствуют стабилизации (сохранению) рыжикового масла.

Наши исследования показали, что в условиях сезона 2021 г. сложились уникальные погодные условия, оказавшие влияние на состав токоферолов в масле семян рыжика. Это проявилось в полном отсутствии  $\alpha$ -токоферола (таблица 7). Подобные результаты были описаны польскими учеными [14]. Для наглядности приводим тонкослойную хроматограмму с разделением двух стандартов различных форм токоферолов и в двух повторностях трех сроков сева рыжика (рисунок 3).

**Таблица 7 – Содержание токоферолов в масле рыжика ярового сорта Юбиляр, 2021 гг.**

Содержание	Срок сева		
	при первой возможности выхода в поле	третья декада марта	первая декада апреля
Общее, мг на 100 г масла	90,7	91,5	92,4
$\alpha$ -токоферол, %	-	-	-
$\gamma$ -токоферол, %	100	100	100



**Рисунок 3 – Тонкослойная хроматограмма состава токоферолов масла ярового рыжика сорта Юбиляр в зависимости от срока сева, 2021 г.**

**Примечание.** 1 – стандарт (54 % –  $\gamma$ -токоферол, 46 % –  $\delta$ -токоферол); 2, 3 – первый срок; 4, 5 – второй срок; 6, 7 – третий срок; 8 – стандарт (24 % –  $\alpha$ -токоферол, 26 % –  $\beta$ -токоферол, 34 % –  $\gamma$ -токоферол, 16 % –  $\delta$ -токоферол).

Совокупность приведённых данных о влиянии сроков сева на качество масла позволяет прийти к следующему заключению. Наиболее благоприятно складываются

условия при посеве рыжика ярового при первой возможности выхода в поле. Именно в первый срок сева не только формируется наивысшая урожайность семян культуры, но и отмечен большой процент жира в масле (в среднем 38,74 %), содержание полиненасыщенных жирных кислот (56,96 %), в том числе семейства омега-3 (36,03 %), при этом общее содержание токоферолов относительно высокое (90,7 %).

#### Выводы

Установлено, что вегетационный период рыжика ярового в условиях Центральной степи Крыма в среднем составляет 97–100 дней.

Наиболее высокая полевая всхожесть семян рыжика ярового достигается при раннем сроке сева – 62,7–66,3 %, что обусловлено более благоприятными условиями увлажнения почвы ко времени сева культуры.

Рыжик яровой в Крыму формирует невысокие урожаи семян. В среднем за три года исследований наибольшая урожайность была достигнута при посеве при первой возможности выхода в поле с нормами высева 7–8 млн шт./га – 4,3–4,4 ц/га. Следует отметить, что в некоторые годы отмечена осыпаемость семян, затрудняющая уборку.

Масло *Camelina sativa*, содержащее в своём жирно-кислотном составе до 56,96 % полиненасыщенных жирных кислот, в том числе 36,03 % семейства омега-3, является привлекательным сырьем для производства функциональных пищевых продуктов, косметики и нутрицевтиков. Присутствие в масле токоферолов в относительно больших количествах (до 92,4 мг на 100 г масла), а также низкое содержание антипитательных веществ, таких как эруковая кислота (3,24–3,46 %), является дополнительными преимуществами.

#### Литература

1. Oliveira G. M., Silva F. F. S., Nascimento Araujo M., Costa D. C. C., Gomes S. E. V., Matias J. R., Angelotti F., Cruz C. R. P., Seal C. E., Dantas B. F. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds // Journal of Seed Science. 2019. Vol. 41 (1). P. 32–43. DOI: 10.1590/2317-1545v41n1191945.
2. Savo V., Lepofsky D., Benner J. P., Kohfeld K. E., Bailey J., Lertzman K. Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world // Nature Climate Change. 2016. Vol. 6. P. 462–473. DOI: 10.1038/NCLIMATE2958.
3. Thakur M., Mittal D., Khosla P. K., Saini V., Saini R. V., Saini A. K. Rhizobacteria associated with *Spilanthus acmella* Murr. confer drought-tolerance and plant growth promotion // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021 Vol.11. No. 5. P. 13155–13170. DOI: 10.33263/BRIAC115.1315513170.
4. Буянкин В. И., Прахова Т. Я. Рыжик масличный (*Camelina* sp.). Волгоград: ООО «СФЕРА», 2016. 116 с.
5. Tavarini S., De Leo M., Matteo R., Lazzeri L., Braca A., Angelini L.G. Flaxseed and camelina meals as potential sources of health-beneficial compounds // Plants. 2021. Vol.10. No. 1. DOI: 10.3390/plants10010156.
6. Zanetti F., Alberghini B., Jeromela A.M., Grahovac N., Rajkovic D., Kiprovski B., Monti A. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2021. Vol. 41. No. 1. DOI: 10.1007/s13593-020-00663-y.
7. Turina E. L., Pashtetskiy V. S., Turin E. N., Prakhova T. Ya., Efimenko S. G. *Camelina* sp. L. in field trials and crop production of Crimea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. Voronezh: Institute of Physics Publ., 2020. Vol. 422. Iss. 1. Art. No. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012011.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта М.: Агропромиздат, 1985. 207 с.
9. Лукомец В. М., Тишков Н. М., Баранов В. Ф., Пивень В. Т., Шуляк И. И., Уго Т. К. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами // Под ред. Лукомца В. М. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, 2010. 327 с.
10. Практикум по земледелию // Под ред. Васильева И. П., Туликова А. М., Баздырев Г. И. [и др.]. М.: Колос, 2004. 424 с.
11. Попов П. С. Методы определения сопутствующих жиру веществ в семенах. Методические указания по определению биохимических показателей качества масла и семян масличных культур. Краснодар, 1986. С. 37–41.
12. Прахова Т. Я., Прахов В. А. Масличные культуры семейства Brassicaceae в условиях Среднего Поволжья. Монография. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. 220 с.

13. Kiczorowska B., Samolinska W., Andrejko D., Kiczorowski P., Antoszkiewicz Z., Zajac M., Winiarska-Mieczan A., Bakowski M. Comparative analysis of selected bioactive components (fatty acids, tocopherols, xanthophyll, lycopene, phenols) and basic nutrients in raw and thermally processed camelina, sunflower, and flax seeds (*Camelina sativa* L. Crantz, *Helianthus* L., and *Linum* L.) // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. No.9. P. 4296–4310. DOI: 10.1007/s13197-019-03899-z.
14. Grajzer M., Szmalcel K., Kuzminski L., Witkowski M., Kulma A., Prescha A. Characteristics and antioxidant potential of cold-pressed oils – possible strategies to improve oil stability // Foods. 2020. Vol. 9. No.11. Art. No.1630. DOI: 10.3390/foods9111630.

### References

1. Oliveira G.M., Silva F.F.S., Nascimento Araujo M., Costa D.C.C., Gomes S.E.V., Matias J.R., Angelotti F., Cruz C.R.P., Seal C.E., Dantas B.F. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds // Journal of Seed Science. 2019. Vol. 41 (1). P. 32–43. DOI: 10.1590/2317-1545v41n1191945.
2. Savo V., Lepofsky D., Benner J.P., Kohfeld K.E., Bailey J., Lertzman K. Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world // Nature Climate Change. 2016. Vol. 6. P. 462–473. DOI: 10.1038/NCLIMATE2958.
3. Thakur M., Mittal D., Khosla P. K., Saini V., Saini R. V., Saini A. K. Rhizobacteria associated with *Spilanthes acmella* Murr. confer drought-tolerance and plant growth promotion // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021 Vol. 11. No. 5. P. 13155–13170. DOI: 10.33263/BRIAC115.1315513170.
4. Buyankin V. I., Prakhova T. Ya. Camelina (*Camelina* sp.). Volgograd: “SFERA OOO” (Limited Liability Company), 2016. 116 p.
5. Tavarini S., De Leo M., Matteo R., Lazzeri L., Braca A., Angelini L.G. Flaxseed and camelina meals as potential sources of health-beneficial compounds // Plants. 2021. Vol. 10. No.1. DOI: 10.3390/plants10010156.
6. Zanetti F., Alberghini B., Jeromela A.M., Grahovac N., Rajkovic D., Kiproviski B., Monti A. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2021. Vol. 41. No.1. DOI: 10.1007/s13593-020-00663-y.
7. Turina E. L., Pashtetskiy V. S., Turin E. N., Prakhova T. Ya., Efimenko S. G. *Camelina* sp. L. in field trials and crop production of Crimea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. Voronezh: Institute of Physics Publ., 2020. Vol. 422. Iss. 1. Art. No. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012011.
8. Dospelkov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 207 p.
9. Lukomets V. M., Tishkov N. M., Baranov V. F., Piven V. T., Shulyak I. I., Ugo T. K. Methods of conducting field agrotechnical experiments with oilseeds / Ed. by Lukomets V. M. Krasnodar: V.S. Pustovoit All-Russian Scientific Research Institute of Oil Crops (VNIIMK), 2010. 327 p.
10. Practicum on agriculture // Ed. by Vasiliev I. P., Tulikov A. M., Bazdyrev G. I. [et al.]. Moscow: Kolos, 2004. 424 p.
11. Popov P. S. Methods for determining fat-related substances in seeds. Methodological guidelines for the determination of biochemical indicators of the quality of oil and oilseeds. Krasnodar, 1986. P. 37–41.
12. Prakhova T. Ya., Prakhov V. A. Oil crops of the *Brassicaceae* in the conditions of the Middle Volga region. Monograph. Penza: Editorial and publishing department of Penza State Agrarian University, 2018. 220 p.
13. Kiczorowska B., Samolinska W., Andrejko D., Kiczorowski P., Antoszkiewicz Z., Zajac M., Winiarska-Mieczan A., Bakowski M. Comparative analysis of selected bioactive components (fatty acids, tocopherols, xanthophyll, lycopene, phenols) and basic nutrients in raw and thermally processed camelina, sunflower, and flax seeds (*Camelina sativa* L. Crantz, *Helianthus* L., and *Linum* L.) // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. No.9. P. 4296–4310. DOI: 10.1007/s13197-019-03899-z.
14. Grajzer M., Szmalcel K., Kuzminski L., Witkowski M., Kulma A., Prescha A. Characteristics and antioxidant potential of cold-pressed oils – possible strategies to improve oil stability // Foods. 2020. Vol. 9. No.11. Art. No.1630. DOI: 10.3390/foods9111630.

UDC 633.8

Turina E. L., Efimenko S. G., Turin E. N.  
**SPRING CAMELINA SATIVA YIELD AND OIL QUALITY UNDER  
CONDITIONS OF THE CRIMEAN PENINSULA DEPENDING ON PLANTING  
DATE AND SEEDING RATE**

**Summary.** Interest in *Camelina sativa* is continuing to grow across the world due to its environmental plasticity and wide range of oil uses. The aim of the research was to determine the optimal parameters of spring camelina cultivation in the Central Steppe of Crimea on the example of the variety ‘Yubilyar’. The studies were carried out in 2019–2021

on the experimental field of the Field Crops Department of the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” according to B.A. Dospikhov “Methods of field research”. The experimental design included the following options: Factor A – planting dates: as early as possible (as soon as soil can be tilled); second decade of March; third decade of March; Factor B – seeding rate: 5.0; 6.0; 7.0; 8.0; 9.0 million seeds per hectare. The earliest planting date for spring camelina (as early as needed to optimize yield) in 2019 was February 4<sup>th</sup>; in 2020 – March 2<sup>nd</sup>; in 2021 – March 6<sup>th</sup>. In the course of this research, we found that spring camelina crop growing season length varied from 97 to 100 days under conditions of the central steppe of the Crimea. The highest seed germination rate in the field conditions (62.7 to 66.3% depending on the seeding rate) was observed at the early planting date. Sowing camelina in the first decade of April (the latest planting date) led to field germination decrement; it amounted to only 42.8–44.9%. The highest seed yield of *C. sativa* (4.3–4.4 cwt/ha) was obtained when the crop was sown as early as possible at seeding rate of 7–8 million seeds per hectare. It should be noted that under unfavourable weather conditions (air and soil drought), and if camelina is sown in the first decade of April, plants even may not form seeds in the pods. The camelina seed oil content depends on the planting date. It would reach its highest value (33.55–41.94%) if the crop was sown as early as possible and weather conditions were optimal. According to its fatty acid composition, spring camelina oil is very promising and can be, undoubtedly, used in food, cosmetics and nutraceuticals production.

**Keywords:** spring camelina (*Camelina sativa*), yield, oil content, fatty acid composition, tocopherols.

Турина Елена Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории исследования технологических приемов в животноводстве и растениеводстве, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: schigortsovaelena@rambler.ru.

Ефименко Сергей Григорьевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биохимии ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта»; 350038, Россия, г. Краснодар, ул. имени Филатова, 17; e-mail: efimenko-km@yandex.ru.

Турин Евгений Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: turin\_e@niishk.ru.

Turina Elena Leonidovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, leading researcher of the Laboratory of technological methods in animal husbandry and crop production research, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russia; e-mail: schigortsovaelena@rambler.ru.

Efimenko Sergey Grigorievich, Cand. Sc. (Biol.), head of Laboratory of Biochemistry, FSBSI “Federal Scientific Center “All-Russian Research Institute of Oil Crops by V. S. Pustovoit” (VNIIMK)”; 17, Filatova str. Krasnodar, 350038, Russia; e-mail: efimenko-km@yandex.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, 295493, Russia; e-mail: turin\_e@niishk.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.12.2021.

Дата принятия к печати – 11.02.2022.

УДК 631.4

EDN QVVYJW

Филина Я. А.<sup>1</sup>, Дунаева Е. А.<sup>1</sup>, Рассказова А. С.<sup>2</sup>, Смагин А. В.<sup>2</sup>, Джапарова А. М.<sup>1</sup>  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЧЕРНОЗЁМОВ  
ЮЖНЫХ И АГРОЧЕРНОЗЁМОВ СЕГРЕГАЦИОННЫХ КРЫМА МЕТОДОМ  
РАВНОВЕСНОГО ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ**

<sup>1</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

**Реферат.** Актуальность оценки водного режима почв обусловлена возрастающим интересом к вопросу рационального использования почв. Широкое распространение в различных областях почвоведения и смежных дисциплинах получила основная гидрофизическая характеристика. С ее помощью можно прогнозировать водный режим почв и влагообеспеченность растений. Изменения основной гидрофизической характеристики (ОГХ) позволяют количественно охарактеризовать эффективность мелиорации. Гипотезой исследований было утверждение, что полученные почвенно-гидрологические константы при использовании метода равновесного центрифугирования можно применять для целей сельского хозяйства при пересчёте запасов влаги в почвенных горизонтах и моделировании продукционного процесса роста сельскохозяйственных культур для корректировки исходных данных почвенной гидрологической группы. Цель работы – определить водно-физические свойства южных чернозёмных и сегрегационных агрочернозёмных почв в лабораторных условиях с использованием метода равновесного центрифугирования. Отбор проб осуществляли на полях Клепининского сельского поселения Красногвардейского района Республики Крым (центральный степной район Крыма). Объект исследования – чернозёмы южные мицелярно-карбонатные и мицелярно-высококарбонатные и агрочерноземы сегрегационные маломощные тяжелосуглинистые на лёссовидных суглинках. В работе использовали метод равновесного центрифугирования с последующим определением почвенно-гидрологических констант. Аппроксимацию экспериментальных данных проводили с использованием функции ван Генухтена (программа RETC). В результате проведенных исследований впервые получены параметры кривой водоудерживающей способности и уточнены значения почвенно-гидрологических констант чернозёмов южных и агрочернозёмов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках. Результаты исследований могут быть использованы для корректировки информации о почвенных влагозапасах, при разработке режимов орошения для чернозёмных и агрочернозёмных почв Крыма, а также при агрогидрологическом моделировании потенциальной урожайности.

**Ключевые слова:** водный режим, основная гидрофизическая характеристика, влажность, давление влаги, вертикальный перенос влаги, чернозёмы южные, агрочернозёмы сегрегационные.

**Для цитирования:** Филина Я. А., Дунаева Е. А., Рассказова А. С., Смагин А. В., Джапарова А. М. Определение водоудерживающей способности чернозёмов южных и агрочернозёмов сегрегационных Крыма методом равновесного центрифугирования // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 166–180. EDN: QVVYJW.

**For citation:** Filina Ya. A., Dunaieva Ie. A., Rasskazova A. S., Smagin A. V., Dzharparova A. M. Determination of the water retention capacity of chernozems southern and agrochernozems segregated in the Crimea by the method of equilibrium centrifugation // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 166–180. EDN: QVVYJW.



## Введение

Почвенный покров Крымского полуострова впервые был описан В. В. Докучаевым в работе по результатам экспедиции по европейской части России [1]. Изучением почв Крыма занимались Н. М. Сибирцев, Г. И. Танфильев, А. Р. Ферхмин [2], Н. Н. Клепинин [3], И. Н. Антипов-Каратаев, Л. И. Прасолов [4], Н. Н. Дзенс-Литовская [5] и др.

Изучением взаимодействия системы «растение – почва – климат» горного Крыма занимался М. А. Кочкин [6], исследованием почвенного покрова Крыма – Н. А. Драган [7], вопросами рационального использования земель, повышения плодородия почв – И. Я. Половицкий и П. Г. Гусев [8] и другие.

Несмотря на многолетние исследования, почвенный покров и его свойства изучены не полностью. Рациональное использование почв и управление ими заслуживают особого внимания, как основа использования сельскохозяйственных угодий. От свойств почвы зависит выбор типа возделываемых культур, севообороты, агротехника, вид и количество применяемых удобрений, а также получение высоких урожаев.

Информация о почвенном покрове Крыма представлена на почвенных картах. Одними из первых почвенных карт, включающих территорию Крымского полуострова, является «Карта ґрунтів Української РСР» (1967 г.) [9] и «Почвенная карта Украинской ССР» [10] (1977 г.). Масштаб карт 1:200000 и 1:2500000 соответственно. На карте Украинской ССР 1977 г. почвы Крымского полуострова представлены 12 почвами. «Карта ґрунтів Української РСР» содержит контуры 45 почв, описание материнской породы и прочее, однако, на карте отсутствует информация по почвенному обследованию на территориях, занятых лесом и населёнными пунктами. Более детально информация о почвенном покрове представлена в справочном издании «Почвы Крыма и повышение их плодородия» И. Я. Половицкого и П. Г. Гусева (1987 г.) [8] и в пособии Н. А. Драган (2004 г.) «Карта почвенного покрова Крымского полуострова» [7], которая составлена согласно Классификации почв СССР 1977 г.

Проведенный анализ имеющихся данных о почвенном покрове Крыма, в том числе картографического материала, показал, что для почв полуострова есть только укрупненная информация о механическом и гранулометрическом составе почв, данные о влагоемкости и др. Кроме того, при проведении моделирования продукционного процесса роста сельскохозяйственных культур в большинстве моделей необходимо указывать либо параметры кривой водоудерживающей способности почвы, либо почвенно-гидрологические константы, либо наименование почвы в соответствии с международной классификацией почвенного покрова. В связи с этим исследования по изучению водно-физических свойств почв Крыма имеют особую актуальность.

Обработка почвы, внесение удобрений, применение гербицидов, мелиорация и другие способы воздействия на почву для получения высокого урожая привели к изменению естественных процессов экосистем, благодаря чему происходят изменения свойств почв, сформированных в процессе естественного почвообразования. Важным аспектом исследования почвы является полнота их описания, что служит основой для дальнейшей классификации почв по морфологическим и другим свойствам.

В настоящее время на территории полуострова согласно номенклатуре почв Крымской области, можно выделить 19 типов и 37 подтипов, а также более 440 видов почв [11]. Однако в других источниках количество типов почв отличается: по И. Я. Половицкому и П. Г. Гусеву насчитывается 22 типа почв, по Н. А. Драган – 21. На долю чернозёмов южных приходится 29,5 %, что составляет 568,1 тыс. га, в том числе 23,7 % – чернозёмы южные мицелярно-карбонатные или 457,3 тыс. га [8].

Одним из важнейших показателей, по которому можно определить свойства

(физические, химические, биологические, физико-химические и др.) и режимы (водный, воздушный, тепловой и питательный) почвы, является гранулометрический состав почв. В настоящее время методы определения гранулометрического состава делятся на прямые (ситовой и пипеточный) и косвенные (ареометрический). Как в отечественном почвоведении, так и в других странах традиционно используют прямые методы. Среди других методов, используемых в почвенных лабораториях, получили распространение оптическая микроскопия и лазерная дифрактометрия [12]. При помощи первого метода можно определить форму, размер частиц грунта, а также их количество. Но данный метод имеет свои недостатки: высокую стоимость оборудования, длительную подготовку проб, сложность в интерпретации результатов измерений. Второй метод определения гранулометрического состава основан на принципе отклонения лазерного луча на разные углы от частиц разного размера. На сегодняшний день этот метод является перспективным благодаря скорости получения результатов и широкой линейке приборов на рынке.

От гранулометрического и минерального состава, структуры, содержания гумуса и обработки почвы зависят плотность почвы, её влагоёмкость, водопроницаемость, воздушный и тепловой режим. Поэтому при одинаковых природно-климатических условиях и при равной влажности почвы могут содержать разное количество доступной для растений воды [13].

Для почв Крыма накоплен фактический материал по изучению физических характеристик почв [7, 8]. Однако использование данной информации для конкретных практических случаев имеет свои ограничения, обусловленные тем, что почва является динамической системой, в которой проходят различные процессы, в том числе увлажнения-иссушения [14, 15].

В настоящее время существует достаточное количество почвенно-гидрологических констант, с помощью которых можно определить показатели почвенной влаги в зависимости от её подвижности и доступности для растений (данные константы имеют практическую значимость). Согласно Н. А. Качинскому [20], состояние почвы, при котором поры достигают максимального возможного заполнения (насыщения) влагой, называется полной влагоемкостью (ПВ) (полной вместимостью влаги). Наименьшая влагоемкость (НВ) – это максимальное количество влаги, которую может удержать почва после стекания избытка влаги при глубоком залегании грунтовых вод [16]. При небольшом уровне залегания грунтовых вод происходит дополнительное насыщение почвы под действием капиллярных сил и в таком случае образуется капиллярно подпёртая влага [17] (капиллярная влагоемкость). Критическая величина влажности, характеризующаяся потерей способности восходящего передвижения влаги к испаряющей поверхности при снижении влажности, называется влажностью разрыва капилляров (ВРК). Продуктивная влага – это часть почвенной влаги, доступной растениям. Минимальное значение влажности почвы, которое характеризует порог доступности воды растениям, называется влажностью устойчивого завядания (ВЗ). Запас продуктивной влаги (доступной растениям) определяется разностью НВ и ВЗ. Запас легкодоступной влаги: НВ-ВРК, запас труднодоступной влаги: ВРК-ВЗ.

Плодородие является важнейшим для сельского хозяйства свойством почвы. Непосредственное влияние на рост и развитие растений оказывает влагообеспеченность почвы, которая является комплексной характеристикой и включает в себя наименьшую влагоемкость и диапазон активной влаги. В данной работе для изучения водно-физических свойств и получения почвенно-гидрологических констант будет использован косвенный метод равновесного центрифугирования, который показал свою результативность [18].

По Е. В. Шеину «ОГХ – это количественная характеристика водоудерживающей способности почв. Водоудерживание можно определить, как способность почвы удерживать влагу в основном капиллярно-сорбционными силами; это влажность почвы при определённом давлении. Чем выше влажность почвы при одном и том же давлении, тем выше водоудерживающая способность или водоудерживание почвы» [19]. Водоудерживающая способность исследована в работах И. И. Судницына [20], Ю. И. Крылова [21], А. П. Шварова [22], А. В. Человечковой [23], А. Г. Болотова [24], С. В. Бабошкиной [25] и др. С помощью ОГХ выявлена зависимость состояния почв от концентрации органического углерода в них [26], от вида угодий [27] и др. Также установлено, что при неблагоприятных гидрофизических свойствах почв возможно проявление опустынивания территорий [28, 29]. Терлеев В.В. и соавторы [30, 31] предложили функцию водоудерживающей способности и функцию гидравлической проводимости почвы. Эти функции имеют общие физически интерпретированные параметры. Благодаря этому возможно прогнозировать значения функции гидравлической проводимости почвы по данным о коэффициенте фильтрации влаги с использованием параметров функции водоудерживающей способности почвы. Верификация этих функций в отношении прогнозных оценок значений функции гидравлической проводимости почвы показала их достоверные преимущества перед функциями в методе Муалема-Ван Генухтена и методе Муалема-Косуги для почв различного гранулометрического состава. Вместе с тем, в отношении погрешности точечной аппроксимации опытных данных о водоудерживающей способности почв достаточно однородного гранулометрического состава достоверных отличий функции водоудерживающей способности почвы, предложенной Терлеевым В. В. и соавторами, не выявлено. Тем не менее, для почв неоднородного гранулометрического состава преимущество ОГХ, предложенной Терлеевым В. В. и соавторами, несомненно.

Исследование водоудерживающей способности почв возможно в полевых и лабораторных условиях. В полевых условиях исследуют ненарушенные образцы почв: непосредственно измеряют и регистрируют влажность и водоудерживающую способность, например, с помощью тензиометров. В лабораторных условиях используют нарушенные образцы почвы, прошедшие предварительную обработку, например, по методу равновесного центрифугирования – иссушение, дробление и просеивание. Так, Москера Д. М. с соавторами [32] в своей работе рассматривают соответствие экспериментальных (лабораторных) результатов с полевыми условиями. Отмечено, что искажение лабораторных ОГХ происходит независимо от землепользования и/или управления почвами, при этом данные хорошо согласуются с полевыми условиями, но в определенном влажном диапазоне (от насыщения до матричного потенциала).

В своей работе Шеин и др. [33] проводят сравнение методов расчета: метода Гупты и Ларсона, метода Ролса, модели ван Генухтена (UNSODA, HYPRES, расчет по формулам) с экспериментальными данными (ОГХ, полученные в полевых условиях синхронным измерением влажности и давления влаги, а также данные лабораторных определений на капилляриметре и над насыщенными растворами стандартных солей) и делают вывод, что в каждом конкретном случае выбор метода остается за исследователем.

**Цель исследований** – определить водно-физические свойства южных чернозёмных и сегрегационных агрочернозёмных почв с использованием метода равновесного центрифугирования.

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

Объект исследований – почва Клепининского сельского поселения Красногвардейского района Республики Крым (центральный степной район Крыма) –

чернозёмы южные мицелярно-карбонатные и мицелярно-высококарбонатные и агрочерноземы сегрегационные маломощные тяжелосуглинистые на лёссовидных суглинках (рисунок 1).

Поле № 1: площадь – 28 га, технология возделывания – no-till (существует пять лет). Преобладающая почва согласно почвенной карте 1967 г. [9] – чернозёмы южные слабогумусированные мицелярно-высококарбонатные на лёссовидных отложениях; согласно почвенной карте 1977 г. [10] – чернозёмы южные мицелярно-карбонатные и мицелярно-высококарбонатные. Отбор проб почвы проводили на глубину 100 см по 10-сантиметровым слоям по методике [34].



Рисунок 1 – Пилот-поля для определения ОГХ

Поле № 2: площадь – 50 га, пар (почвенный разрез представлен на рисунке 2). Преобладающая почва согласно почвенной карте 1967 г. [9] – чернозёмы южные слабогумусированные мицелярно-высококарбонатные на лёссовидных отложениях и слабо- и среднесмытые чернозёмы южные слабогумусированные; согласно почвенной карте 1977 г. [10] – чернозёмы южные мицелярно-карбонатные и мицелярно-высококарбонатные. Согласно исследованиям 2015–2016 гг. преобладающая почва – агрочерноземы сегрегационные маломощные тяжелосуглинистые на лёссовидных суглинках с формулой профиля PU- AU<sub>b</sub>BCA- BCAn<sub>c</sub>- BCca,nc- Cca- Cca,nc,cs- Cca,nc,cs,q (по классификации почв России); Naplic Chernozem (Siltic, Aric) (согласно WRB-2014) [35]. Отбор проб почвы проводился на глубину 100 см по 10-сантиметровым слоям по методике [34].



Рисунок 2 – Почвенный разрез, представленный агрочерноземом сегрегационным маломощным тяжелосуглинистым на лёссовидных суглинках

Водоудерживающую способность почвы принято описывать в виде зависимости между объёмной влажностью почвы и капиллярно-сорбционным потенциалом почвенной влаги [37].

Определение ОГХ проводили методом равновесного центрифугирования [19]. Метод реализован на центрифуге ОПН-12 (главные характеристики представлены на рисунке 3), на скоростях от 100 об./мин до 7000 об./мин, проводили в четырехкратной повторности с последующей статистической обработкой результатов. Ошибка не превышала 5% при 95%-ном уровне значимости.

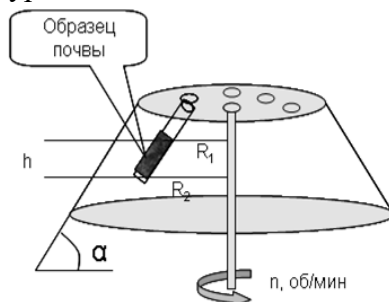


Рисунок 3 – Параметры центрифуги ОПН-12: R<sub>1</sub> – 6,4-6,8 см, R<sub>2</sub> – 10 см, α – 35°

Давление при равновесном центрифугировании считали по формуле (1):

$$P = 0,0055 n^2 (R_2^2 - R_1^2) \cos \alpha + gh \sin \alpha \text{ (кПа)}, \quad (1)$$

где  $n$  – обороты/мин;  $R_{1,2}$  – расстояния от оси вращения до начала образца и до свободной поверхности удаляемой жидкости соответственно, см;  $\alpha$  – угол наклона центрифуги, °;  $g$  – ускорение свободного падения, внесистемная единица ускорения, м/с<sup>2</sup>;  $h$  – высота образца, см.

Образцы почвы воздушно-сухого состояния измельчали с помощью мельницы, пропускали через сито. Далее почву насыщали до состояния полной влагоемкости и затем проводили центрифугирование. По окончании эксперимента почву высушивали при 105 °С и определяли влажность по формуле (2):

$$W = (m_2 - m_3) \div (m_3 - m_1) \times 100 (\%), \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса бюкса, г;  $m_2$  – масса бюкса с почвой после центрифугирования на максимальной скорости, г;  $m_3$  – масса бюкса с абсолютно сухой почвой, г.

Экспериментальные данные были аппроксимированы функцией модели ван Генухтена и ван Генухтена-Муалема [38] (формулы 3–5), (уровень значимости – 0,05).

$$W = \frac{W_s - W_r}{(1 + (\alpha P)^n)^m} + W_r, \quad (3)$$

$$K = K_s \left( \frac{W - W_r}{W_s - W_r} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{W - W_r}{W_s - W_r} \right)^{\frac{1}{m}} \right]^{m^2} \right], \quad (4)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}, \quad (5)$$

где  $W$  – объёмная влажность почвы, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $W_r$  – параметр минимальной влажности, соответствующий прочно связанной, неподвижной для вязкого течения влаге, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $W_s$  – объёмная влажность почвы, соответствующая полному влагонасыщению, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $\alpha$  – величина, обратно пропорциональная давлению входа

воздуха (давлению барботирования),  $l/cm^3$ ;  $n$  – индекс распределения пор по размерам, характеризующий наклон ОГХ;  $K_s$  – коэффициент фильтрации, см/сут.

В своих работах Терлеев В. В. с соавторами [38] интерпретировали параметр  $\alpha$  как величину, прямо пропорциональную наиболее вероятному эффективному радиусу пор и зависящую от капиллярных свойств почвы и параметр  $n$  – величину, обратно пропорциональную стандартному отклонению логарифмов эффективных радиусов пор.

Для аппроксимации экспериментальных данных ОГХ нелинейной функцией ван Генухтена отечественных и зарубежных авторов, можно выделить такое программное обеспечение как RETC (доступно по [39]), HYPROP (доступно по [40]), SWRC fit (доступно по [41]), Rosetta (доступно по [42]). Следует отметить, что программа HYPROP является приложением для передачи и обработки данных во время эксперимента непосредственно с прибора HYPROP–2 компании METEER Group. Rosetta – программа, написанная для Windows 95/98, запустить данную программу на Windows 7 и старшего поколения невозможно. Аппроксимацию экспериментальных данных в программе SWRC fit проводят с использованием данных о высоте всасывания и объёмного содержания воды. Также вместо высоты всасывания можно использовать, например, как и в RETC, почвенное давление влаги.

Аппроксимацию экспериментальных данных в данной работе проводили с использованием функции ван Генухтена (программа RETC).

В ходе работы извлечение образцов было затруднено, что обусловлено особенностями гранулометрического состава почвы (тяжелосуглинистая почва), и тем, что она спрессовалась под силовым полем центрифуги. Статистическую обработку результатов и расчет почвенных констант проводили в программе RETC.

#### Результаты и их обсуждение

В таблице 1 приведены результаты, полученные при построении кривой ОГХ (данные «Справочник» [4], для НВ использован метод залива площадок).

**Таблица 1 – Результаты определения значений НВ, ВРК и ВЗ методом равновесного центрифугирования почвы**

Поле	Слой, см	Определение (по ван Генухтену), %			Справочник, %		
		НВ	ВРК	ВЗ <sup>1</sup>	НВ	ВРК <sup>2</sup>	ВЗ
1	0–10	45,93	35,22	8,09	32,74	22,92	12,92
	10–20	43,13	34,14	8,46			
	20–30	44,21	34,20	8,50			
	30–40	42,19	34,10	8,70	28,34	19,84	14,08
	40–50	41,38	32,49	9,17			
	50–60	40,29	31,70	9,63	22,84	15,99	12,64
	60–70	37,07	29,32	10,56			
	70–80	36,32	28,90	10,57	20,81	14,57	9,75
	80–90	35,84	28,63	10,83			
90–100	35,17	28,51	10,90	19,55	13,69	10,47	
2	0–10	42,01	34,07				8,78
	10–20	42,83	33,93	8,52			
	20–30	42,03	33,67	8,76			
	30–40	42,70	33,64	8,61	28,34	19,84	14,08
	40–50	40,37	32,04	9,25			
	50–60	39,93	31,43	9,54	22,84	15,99	12,64
	60–70	37,62	30,04	10,16			
	70–80	40,35	31,34	9,29	20,81	14,57	9,75
	80–90	37,22	29,59	10,22			
90–100	38,52	30,11	10,22	19,55	13,69	10,47	

**Примечание.** <sup>1</sup>ВЗ определено по ОГХ методом Ричардса-Уивера [43] при абсолютном значении давления воды  $|P|=1500$  кПа с корректировкой по эмпирическому уравнению [44]:  $VZ = 0,857 + 0,96 \times VZ_{1500}$ . <sup>2</sup> Влажность разрыва капилляров составила 70 % от наименьшей влагоемкости почв.

Водоудерживающая способность почв представлена в таблице 2.

**Таблица 2 – Запас воды, удерживаемый чернозёмами южными мицелярно-карбонатными и мицелярно-высококарбонатными (поле 1) и агрочерноземами сегрегационными маломощными тяжелосуглинистыми на лёссовидных суглинках (поле 2) Клепининского сельского поселения Красногвардейского района Республики Крым**

Поле	Слой, см	Определение (по ван Генухтену), мм			Справочник, мм		
		НВ	ВРК	ВЗ	НВ	ВРК	ВЗ
1	0–10	95,45	73,19	16,81	86,17	60,32	34,21
	10–20	94,14	74,52	18,47			
	20–30	91,24	70,58	17,54	74,82	52,37	37,25
	30–40	89,44	72,29	18,44			
	40–50	86,45	67,88	19,16	65,08	45,56	29,43
	50–60	83,58	65,76	19,98			
	60–70	78,35	61,97	22,32	60,76	42,53	28,48
	70–80	77,73	61,85	22,62			
	80–90	75,28	60,14	22,75	58,64	41,05	31,34
90–100	68,60	55,61	21,26				
2	0–10	85,08	69,00	17,78	86,17	60,32	34,21
	10–20	89,99	71,29	17,90			
	20–30	83,38	66,80	17,38	74,82	52,37	37,25
	30–40	85,97	67,73	17,34			
	40–50	83,28	66,09	19,08	65,08	45,56	29,43
	50–60	75,56	59,48	18,05			
	60–70	78,37	62,58	21,17	60,76	42,53	28,48
	70–80	86,90	67,50	20,01			
	80–90	80,48	63,98	22,10	58,64	41,05	31,34
90–100	83,30	65,11	22,10				

Наиболее благоприятными для роста и развития растений водно-физическими свойствами обладали верхние слои. Так, показатель НВ в метровом слое первого и второго полей составил 68,60–95,45 мм и 75,56–89,99 мм соответственно. В целом содержание воды для первого поля достигло уровня 840,26 мм, для второго – 832,31 мм. Критическая влажность (показатель ВРК) для первого поля составила 55,61–74,52 мм, для второго – 59,48–71,29 мм. Стоит отметить, что с увеличением глубины значения показателей НВ и ВРК заметно снижаются, а ВЗ увеличивается, что говорит о благоприятных условиях в корнеобитаемом слое.

В таблице 3 представлены зональные параметры аппроксимации для чернозёмов южных мицелярно-карбонатных и мицелярно-высококарбонатных и агрочернозёмов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках.

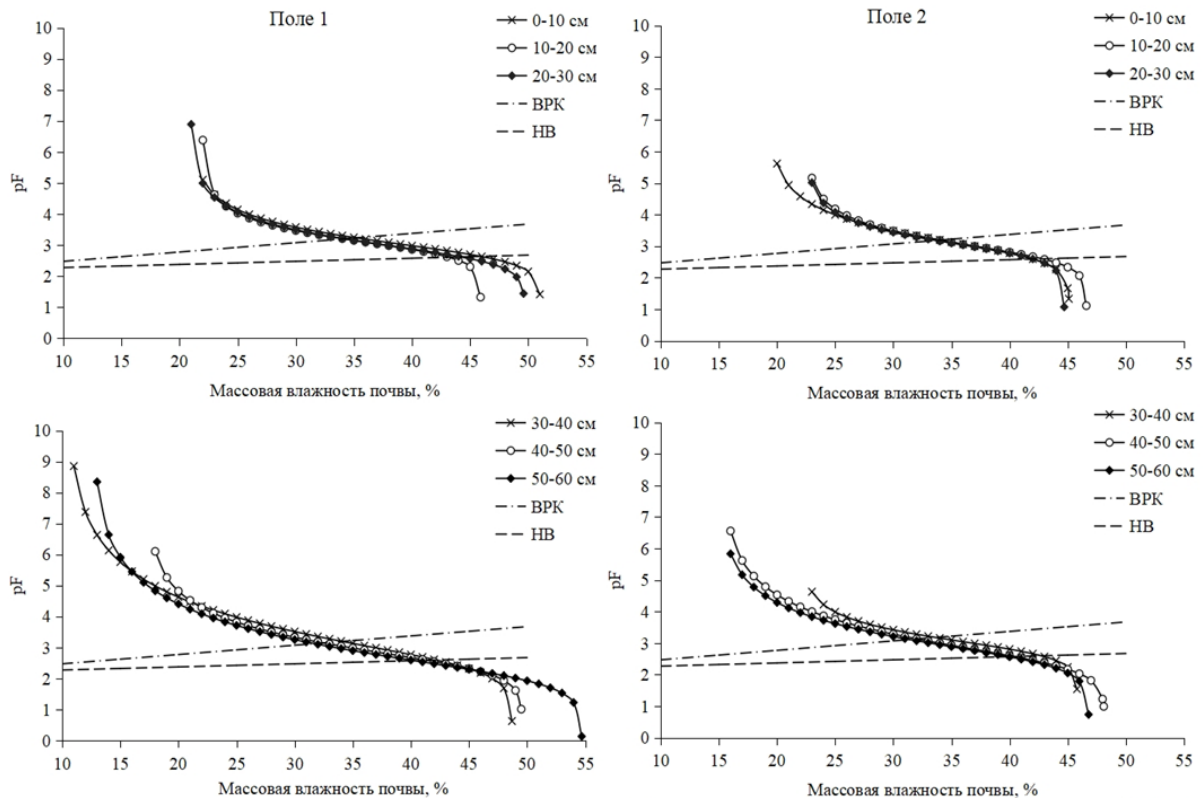
С применением способа Ричардса-Уивера проведено уточнение значения величины ВЗ, полученного методом равновесного центрифугирования с корректировкой ВЗ по эмпирическому уравнению:  $VZ = 0,857 + 0,96 \times VZ_{1500}$  [44]. Значения давления для НВ и ВРК:  $\lg |P_{MAV}| = 4,2 + 3W$ ;  $\lg |P_{MMB}|$  или ВРК =  $2,17 + 3W$ ;  $\lg |P_{MKB}|$  или НВ =  $2,17 + W$  [45].

В дальнейших исследованиях запланировано дополнительно использовать метод пресса (пневматический пресс ФГБНУ «Агрофизический НИИ»), для чего в 2021 г. отобраны образцы ненарушенного сложения.

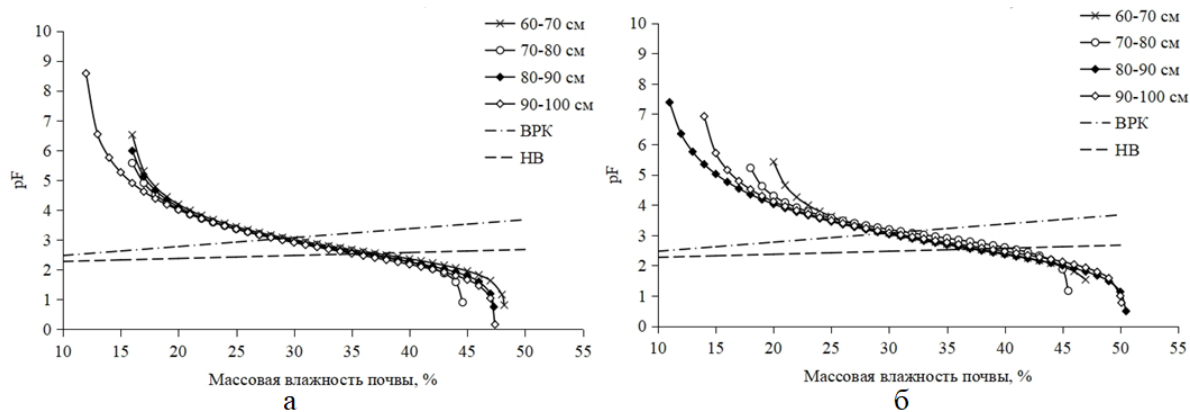
Результаты построения кривых влагоудержания для чернозёмов южных мицелярно-карбонатных и мицелярно-высококарбонатных и агрочернозёмов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках представлены на рисунке 3.

**Таблица 3 – Зональные параметры ван Генухтена для чернозёмов южных мицелярно-карбонатных и мицелярно-высококарбонатных (поле 1) и агрочерноземов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках (поле 2) Клепининского сельского поселения Красногвардейского района Республики Крым**

Поле	Слой, см	$\Theta_r, \text{см}^3/\text{см}^3$	$\Theta_s, \text{см}^3/\text{см}^3$	$\alpha, 1/\text{см}$	$n, (-)$
1	0–10	$21,029 \pm 3,2$	$51,072 \pm 0,5$	$0,018 \pm 0,003$	$1,636 \pm 0,20$
	10–20	$21,956 \pm 1,8$	$45,917 \pm 0,3$	$0,014 \pm 0,002$	$1,780 \pm 0,18$
	20–30	$20,930 \pm 2,2$	$49,698 \pm 0,4$	$0,021 \pm 0,003$	$1,623 \pm 0,14$
	30–40	$0,000 \pm 0,0$	$48,762 \pm 0,4$	$0,030 \pm 0,006$	$1,215 \pm 0,02$
	40–50	$17,294 \pm 4,3$	$49,579 \pm 0,6$	$0,036 \pm 0,009$	$1,455 \pm 0,16$
	50–60	$12,614 \pm 4,9$	$54,727 \pm 0,8$	$0,085 \pm 0,021$	$1,325 \pm 0,09$
	60–70	$15,591 \pm 4,6$	$48,292 \pm 1,0$	$0,062 \pm 0,021$	$1,443 \pm 0,18$
	70–80	$15,031 \pm 2,8$	$44,671 \pm 0,5$	$0,045 \pm 0,009$	$1,461 \pm 0,12$
	80–90	$15,252 \pm 5,0$	$47,394 \pm 1,1$	$0,072 \pm 0,028$	$1,427 \pm 0,19$
2	0–10	$19,285 \pm 5,1$	$45,144 \pm 0,5$	$0,015 \pm 0,004$	$1,557 \pm 0,27$
	10–20	$22,471 \pm 1,2$	$46,616 \pm 0,2$	$0,017 \pm 0,001$	$1,693 \pm 0,10$
	20–30	$22,544 \pm 1,8$	$44,707 \pm 0,3$	$0,014 \pm 0,002$	$1,780 \pm 0,20$
	30–40	$22,080 \pm 1,1$	$45,851 \pm 0,2$	$0,015 \pm 0,001$	$1,787 \pm 0,11$
	40–50	$15,274 \pm 3,3$	$48,190 \pm 0,4$	$0,038 \pm 0,006$	$1,402 \pm 0,09$
	50–60	$15,007 \pm 2,9$	$46,825 \pm 0,4$	$0,031 \pm 0,005$	$1,454 \pm 0,10$
	60–70	$19,332 \pm 5,9$	$47,700 \pm 1,5$	$0,055 \pm 0,030$	$1,517 \pm 0,34$
	70–80	$17,274 \pm 1,9$	$45,539 \pm 0,3$	$0,022 \pm 0,003$	$1,624 \pm 0,12$
	80–90	$10,080 \pm 7,4$	$50,589 \pm 1,0$	$0,092 \pm 0,034$	$1,308 \pm 0,13$
	90–100	$13,514 \pm 4,0$	$50,194 \pm 0,7$	$0,059 \pm 0,014$	$1,400 \pm 0,12$







**Рисунок 3 – Кривые связи капиллярно-сорбционного давления влаги (pF) от влажности ( $\theta$ , в объёмных %) чернозёмов южных мицелярно-карбонатных и мицелярно-высококарбонатных (а) и агрочернозёмов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках (б), полученные расчётным методом, 2021 гг.**

Водоудерживающая способность чернозёмов южных мицелярно-карбонатных и мицелярно-высококарбонатных выше для слоя 0–10 см, для агрочернозёмов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках – для слоя 10–20 см. Меньшей водоудерживающей способностью обладают слои 90–100 см и 80–90 см для первого и второго полей соответственно. Со снижением давления кривые ОГХ отклоняются вправо, в сторону больших значений влажности. Для главных ветвей гистерезисной петли ОГХ рассчитан коэффициент прямолинейной корреляции  $R^2 = 0,997 \pm 0,002$ , что свидетельствует о высокой точечной аппроксимации опытных данных о главных ветвях гистерезиса водоудерживающей способности чернозёмных и агрочернозёмных почв.

#### Выводы

Проведённый анализ ОГХ исследованных чернозёмов южных мицелярно-карбонатных и мицелярно-высококарбонатных и агрочернозёмов сегрегационных маломощных тяжелосуглинистых на лёссовидных суглинках показал, что полученные экспериментальные данные достаточно точно отражают водоудерживающую способность почв. Гранулометрический состав почв (тяжелосуглинистая почва) затруднял процесс равновесного центрифугирования и извлечения образцов. Восстановление ОГХ с использованием математического моделирования (программа RETC) даёт информацию для моделирования процессов перетока влаги. Рассматриваемые образцы носят демонстрационный характер. Экспериментальные данные, аппроксимированные по функции ван Генухтена, достоверны (уровень значимости – 0,05). Полученные данные могут быть использованы для пересчёта запасов почвенной влаги и корректировки исходных данных почвенной гидрологической группы при моделировании продукционного процесса роста сельскохозяйственных культур при разработке режимов орошения для чернозёмных и агрочернозёмных почв Крыма.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-016-00148 А.*

#### Литература

1. Докучаев В. В. Русский чернозем. Санкт-Петербург: Императорское вольное экономическое общество, 1883. С. 270–275.
2. Почвенная карта Европейской России Н.М. Сибирцева, Г.И. Танфильева, А.Р. Ферхмина. М-б 1:2520000 // Под ред. В. В. Докучаева, 1900. 1 л. (1 карта).

3. Клепинин Н. Н. К изучению крымских почв. Симферополь: Крымдздат, 1914.
4. Антипов-Каратаев И. Н., Прасолов Л. И. Почвы Крымского государственного лесного заповедника и прилегающих местностей // Труды Почвенного отдела Комиссии по изучению естественных производительных сил Академии наук СССР. 1932. № 7. С. 7–273.
5. Дзенс-Литовская Н. Н. Почвы и растительность степного Крыма. Л.: Наука, 1970. 157 с.
6. Кочкин М. А. Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования // Труды Никитского ботанического сада. 1967. Т. 38. 260 с.
7. Драган Н. А. Почвы Крыма. Симферополь: СГУ, 1983. 95 с.
8. Половицкий И. Я. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
9. Карта ґрунтів Української РСР. М-б 1:200000 // Под ред. Крупського М. К., 1967. 5 л. (5 карт).
10. Почвенная карта Украинской ССР. М-б 1:2500000 // Под ред. Крупского Н. К., 1977. 1 л. (1 карта).
11. Кочкин М. А., Важов В. И., Иванов В. Ф., Молчанов Е. Ф., Донюшкин В. И. Основы рационального использования почвенно-климатических условий в земледелии. М.: Колос, 1972. 303 с.
12. Буданова Т. Е., Озмидов О. Р., Озмидов И. О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 66–70.
13. Тагиров Р. М., Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Рязанов С. С., Хисамова А. М. Оценка водно-физических свойств и содержание гумуса серых лесных почв на примере фермерского хозяйства Пестречинского района РТ // Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России». Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. С. 111–115.
14. Зубкова Т. А., Манучаров А. С., Черноморченко Н. И., Шваров А. П., Костарев И. А. Гидросорбционный гистерезис в почвах, минералах и породах // Почвоведение. 2005. № 92. С. 1122–1129.
15. Судницын И. И., Шваров А. П., Коренева Е. А. Зависимость влажности почв от полного давления почвенной влаги // Грунтознавство. 2009. Т. 10. № 1–2(14). С. 38–43.
16. Качинский Н. А. Физика почвы. Ч. 2. М.: Высшая школа, 1970. 358 с.
17. Шакиров А. Ш., Хисматуллин М. М. Мелиорация земель (основные термины и понятия). Учебное пособие для студентов агрономических факультетов вузов. Казань: Б.и., 2006. 190 с.
18. Смагин А. В., Садовникова Н. Б., Мизури М. Б. А. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. 1998. № 11. С. 1237–1244.
19. Шеин Е. В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
20. Судницын И. И. Гидрофизические свойства почв южного берега Крыма // Почвоведение. 2016. № 7. С. 831–836. DOI: 10.7868/S0032180X1607011X.
21. Крылова И. Ю., Терлеев В. В. Оценка ОГХ почвы по агрофизическим показателям и эмпирической зависимости Воронина // Сборник трудов международной научно-практической конференции «XXXIX НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбГПУ». Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2010. С. 295–297.
22. Шваров А. П., Кубарева А. В. Водоудерживающая способность и физические свойства почв степной зоны // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 6(181). С. 146–150.
23. Человечкова А. В. Построение кривых водоудерживающей способности выщелоченных черноземов Зауралья инструментальным и расчетным методами // Аграрный вестник Урала. 2014. № 3(121). С. 13–18.
24. Болотов А. Г., Шеин Е. В., Макарычев С. В. Водоудерживающая способность почв Алтайского края // Почвоведение. 2019. № 2. С. 212–219. DOI: 10.1134/S0032180X19020035.
25. Бабошкина С. В., Пузанов А. В., Ельчинова О. А., Рождественская Т. А. Водно-физические свойства и моделирование процесса движения влаги в черноземах южных Канской межгорной котловины (бассейн р. Чарыш, Северо-Западный Алтай) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 3(137). С. 47–54.
26. Смагин А. В., Садовникова Н. Б., Назарова Т. В., Кирюшова А. Б., Машика А. В., Еремина А. М. Влияние органического вещества на водоудерживающую способность почв // Почвоведение. 2004. № 3. С. 312–321.
27. Асгари Ш., Ахмаднежад С., Кейван-Бежу Ф. Влияние вырубки леса на основную гидрофизическую характеристику и качество почв на востоке Ардабила, Иран // Почвоведение. 2016. № 3. С. 368–376. DOI: 10.7868/S0032180X16030023.
28. Щерба Т. Э. Диагностика опустынивания почв при осолонцевании // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. № 3(35). С. 21–25.
29. Щерба Т. Э., Куст Г. С., Смагин А. В., Андреева О. В., Славко В. Д. Диагностика опустынивания с использованием основной гидрофизической характеристики почв // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. № 4(69). С. 30–42.

30. Терлеев В. В., Дунаева Е. А., Гиневский Р. С., Лазарев В. А., Топаж А. Г. Почвенно-гидрофизическое информационное обеспечение прецизионного ирригационного земледелия // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 244–260. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-244-260.
31. 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 // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3(23). С. 152–167. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-152-167.
32. Mosquera G. M., Franklin M., Jan F., Rolando C., Lutz B., David W., Patricio C. A field, laboratory, and literature review evaluation of the water retention curve of volcanic ash soils: how well do standard laboratory methods reflect field conditions? // Hydrological Processes. 2021. Vol. 35. No. 1. Art. No. e14011. DOI: 10.1002/hyp.14011.
33. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: Методическое руководство // Под ред. Е. В. Шеина. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
34. Гилёв В. Ю. Физика почв: учебное-методические указания по полевой практике. Пермь: Изд-во Пермская ГСХА, 2012. 37 с.
35. Хитров Н. Б., Роговнева Л. В., Дунаева Е. А., Попович В. Ф., Паштецкий В. С., Клименко О. Е. Постирригационное состояние пахотных почв степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 1(5). С. 91–110.
36. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 355 с.
37. Van Genuchten M. T., Leij F. J., Yates S. R. The RETC code for quantifying hydraulic functions of unsaturated soils. 1991. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pc-progress.com> (дата обращения 10.07.2020).
38. Терлеев В. В., Mirschel W., Баденко В. Л., Гусева И. Ю., Гурин П. Д. Физико-статистическая интерпретация параметров функции водоудерживающей способности почвы // Агрофизика. 2012. № 4. С. 1–8.
39. HYPROP® 2 automated measuring and evaluation system to determine the hydraulic properties of soil samples [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.metergroup.com/environment/> (дата обращения 25.01.2021).
40. SWRC fit – a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://swrcfit.sourceforge.net/> (дата обращения 18.10.2021).
41. Mathematical model Rosetta. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside-ca/agricultural-water-efficiency-and-salinity-research-unit/docs/model/rosetta-model/> (дата обращения 20.10.2021).
42. Richards L. A., Weaver L. R. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil-moisture retention // J. Agr. Research. 1944. Vol. 69. P. 215–235.
43. Смагин А. В. Физическое качество почв: подходы, модели, показатели, основные проблемы // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16. № 3. С. 12–32.
44. Воронин А. Д. Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.

## References

1. Dokuchaev V. V. Russian chernozem. Saint-Petersburg: Imperatorskoe volnoe ekonomicheskoe obshchestvo, 1883. P. 270–275.
2. Soil map of the European Russia compiled by N. M. Sibirtsev, G. I. Tanfiliev, A. R. Ferkhmin. Scale 1:2520000 // Ed. by Dokuchaev V. V., 1900. 1 sheet. (1 map).
3. Klepinin N. N. On the study of Crimean soils. Simferopol: Krymdzdat, 1914.
4. Antipov-Karataev I. N., Prasolov L. I. Soils of the Crimean State Forest Reserve and adjacent areas // Trudy Pochvennogo otdela Komissii po izucheniyu estestvennyh proizvoditelnyh sil Akademii nauk SSSR. 1932. No. 7. P. 7–273.
5. Dzens-Litovskaya N. N. Soils and flora of the steppe Crimea. Leningrad: Nauka, 1970. 157 p.
6. Kochkin M. A. Soils, forests and climate of the Crimean Mountains and ways of their rational use // Proceedings of the Nikitsky Botanical Garden. 1967. Vol. 38. 260 p.
7. Dragan N. A. Soils of Crimea. Simferopol: Simferopol State University, 1983. 95 p.
8. Polovitsky I. Ya. Soils of the Crimea and increasing their fertility. Simferopol: Tavria, 1987. 152 p.
9. Soil map of the Ukrainian SSR. Scale 1:200000 // Ed. by Krupsky M. K., 1967. 5 sheets. (5 maps).
10. Soil map of the Ukrainian SSR. Scale 1:2500000 // Ed. by Krupskiy N. K., 1977. 1 sheet. (1 map).
11. Kochkin M. A., Vazhov V. I., Ivanov V. F., Molchanov E. F., Donyushkin V. I. Fundamentals of rational use of soil and climatic conditions in agriculture. Moscow: Kolos, 1972. 303 p.
12. Budanova T. E., Ozmidov O. R., Ozmidov I. O. Modern methods of granulometric analysis of soils // Engineering survey. 2013. No. 8. P. 66–70.

13. Tagirov R. M., Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., Khisamova A. M. Assessment of water-physical properties and humus content of gray forest soils on the example of the farming of the Pestrechinsky district of RT // Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference “Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions”. Penza: Penza State Agrarian University, 2020. P. 111–115.
14. Zubkova T. A., Manucharov A. S., Chernomorchenko N. I., Shvarov A. P., Kostarev I. A. Hydrosorptive hysteresis in soils, minerals, and rocks // Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. No. 9. P. 993–1000.
15. Sudnitsyn I. I., Shvarov A. P., Koreneva E. A. Dependence of soil moisture on the total pressure of soil moisture // Gruntoznnavstvo. 2009. Vol. 10. No. 1–2(14). P. 38–43.
16. Kachinsky N. A. Soil Physics. Part 2. Moscow: Vysshaya shkola, 1970. 358 p.
17. Shakirov A. Sh., Khismatullin M. M. Land reclamation (basic terms and concepts). Textbook for students of agronomic faculties of universities. Kazan: N.p., 2006. 190 p.
18. Smagin A. V., Sadovnikova N. B., Ali M.M.B. The determination of the primary hydrophysical function of soil by the centrifuge method // Eurasian Soil Science. 1998. Vol. 31. No. 11. P. 1237–1244.
19. Shein E. V. Course of Soil Physics. Moscow: Moscow State University Publ., 2005. 432 p.
20. Sudnitsyn I. I. Hydrophysical properties of soils on the southern coast of Crimea // Pochvovedenie. 2016. No. 7. P. 831–836. DOI: 10.7868/S0032180X1607011X.
21. Krylova I. Yu., Terleev V. V. Estimation of soil WRC by agrophysical indicators and empirical dependence of Voronin // Proceedings of the international scientific-practical conference “XXXIX WEEK OF SCIENCE SPbSPU”. Saint-Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University”, 2010. P. 295–297.
22. Shvarov A. P., Kubareva A. V. Water-retaining capacity and physical properties of steppe zone soils // Vestnik of the Orenburg State University. 2015. No. 6(181). P. 146–150.
23. Chelovechkova A. V. Plotting of water-retaining curves of lixivious\_chnozems of the Trans Urals by instrumental and estimated methods // Agrarian Bulletin of the Urals. 2014. No. 3(121). P. 13–18.
24. Bolotov A. G., Shein E. V., Makarychev S. V. Water retention capacity of soils in the Altai Region // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 2. P. 187–192. DOI: 10.1134/S1064229319020030.
25. Baboshkina S. V., Puzanov A. V., Yelchinina O. A., Rozhdestvenskaya T. A. Water-physical properties and modeling of moisture transfer in the southern chernozems of the Kansk intermontane depression (the Charysh basin, North-West Altai) // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2016. No. 3(137). P. 47–54.
26. Smagin A. V., Sadovnikova N. B., Nazarova T. V., Kiryushova A. B., Mashika A. V., Eremina A. M. The effect of organic matter on the water-retention capacity of soils // Eurasian Soil Science. 2004. Vol. 37. No. 3. P. 267–275.
27. Asgari Sh., Ahmadnejad S., Keivan-Behjou F. Deforestation effect on soil quality and water retention curve parameters in eastern Ardabil, Iran // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. No. 3. P. 338–346. DOI: 10.1134/S1064229316030029.
28. Shcherba T. E. Desertification due to soil alkalization: diagnostics // Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2015. No. 3(35). P. 21–25.
29. Shcherba T. E., Kust G. S., Andreeva O. V., Slavko V. D., Smagin A. V. Diagnostics of desertification with the use of water retention curve of soils // Arid Ecosystems. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 249–259. DOI: 10.1134/S2079096116040090.
30. Terleev V. V., Dunaeva Ie. A., Ginevsky R. S., Lazarev V. A., Topaj A. G. Soil-hydrophysical information support of precise irrigation farming // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2(26). P. 244–260. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-244-260.
31. Terleev V. V., Dunaeva E. 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 // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 3(23). P. 152–167. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-152-167.
32. Mosquera G. M., Franklin M., Jan F., Rolando C., Lutz B., David W., Patricio C. A field, laboratory, and literature review evaluation of the water retention curve of volcanic ash soils: how well do standard laboratory methods reflect field conditions? // Hydrological Processes. 2021. Vol. 35. No. 1. Art. No. e14011. DOI: 10.1002/hyp.14011.
33. Field and laboratory methods for studying the physical properties and regimes of soils: Methodological guide // Ed. by E. V. Shein. Moscow: Moscow State University Publ., 2001. 200 p.
34. Gilev V. Yu. Soil physics: educational and methodological guidelines for field practice. Perm: Perm State Agricultural Academy Publ., 2012. 37 p.
35. Khitrov N. B., Rogovneva L. V., Dunaeva Ie. A., Popovych V. F., Pashtetskiy V. S., Klimenko O. E. Post-irrigated state of arable soils of steppe Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2016. No. 1(5). P. 91–110.
36. Globus A. M. Experimental hydrophysics of soils. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. 355 p.

37. Van Genuchten M. T., Leij F. J., Yates S. R. The RETC code for quantifying hydraulic functions of unsaturated soils. 1991. [Electronic resource]. Access point: <https://www.pc-progress.com> (reference's date 10.07.2020).
38. Terleev V. V., Mirschel W., Badenko V. L., Guseva I. Yu., Gurin P. D. Physico-statistical interpretation of the soil water retention function's parameters // *Agrophysica*. 2012. No. 4. P. 1–8.
39. HYPROP® 2 automated measuring and evaluation system to determine the hydraulic properties of soil samples. [Electronic resource]. Access point: <https://www.metergroup.com/environment/> (reference's date 25.01.2021).
40. SWRC fit – a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. [Electronic resource]. Access point: <http://swrcfit.sourceforge.net/> (reference's date 18.10.2021).
41. Mathematical model Rosetta. [Electronic resource]. Access point: <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside-ca/agricultural-water-efficiency-and-salinity-research-unit/docs/model/rosetta-model/> (reference's date 20.10.2021).
42. Richards L. A., Weaver L. R. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil-moisture retention // *J. Agr. Research*. 1944. Vol. 69. P. 215–235.
43. Smagin A. V. Physical quality of soils: approaches, models, indicators, key problems // *The North Caucasus Ecological Herald*. 2020. Vol. 16. No. 3. P. 12–32.
44. Voronin A. D. Fundamentals of soil physics. Moscow: Moscow State University Publ., 1986. 244 p.

UDC 631.4

Filina Ya. A., Dunaieva Ie. A., Rasskazova A. S., Smagin A. V., Dzhaparova A. M.

**DETERMINATION OF THE WATER RETENTION CAPACITY OF  
CHERNOZEMS SOUTHERN AND AGROCHERNOZEMS SEGREGATED IN THE  
CRIMEA BY THE METHOD OF EQUILIBRIUM CENTRIFUGATION**

*Summary.* The necessity of soil water regime assessment is based on the increased interest in the issue of sustainable land use. The main hydrophysical characteristic has become widely spread in various fields of soil science and related disciplines. With its help, it is possible to predict the water regime of soils and the moisture supply of plants. Changes in the main hydrophysical characteristic (water retention curve – WRC) make it possible to quantitatively characterize the efficiency of land reclamation. The research hypothesis was the assertion that the obtained soil-hydrological constants using the method of equilibrium centrifugation can be used for agricultural purposes when recalculating soil moisture reserves in soil horizons and modeling the production process of crop growth to correct the initial data of the soil hydrological group. The purpose of the work is to determine the water-physical properties of chernozems southern and agrochernozems segregated in laboratory conditions using the equilibrium centrifugation method. Sampling was carried out in the fields of the Klepininsky rural settlement of the Krasnogvardeisky district of the Republic of Crimea (central steppe region of Crimea). Chernozems southern mycelial-calcareous and mycelial-highly calcareous, as well as agrochernozems segregated thin heavy loam formed on loess-like loams, were the object of study. Equilibrium centrifugation followed by the determination of soil-hydrological constants was the main research method. The experimental data were approximated using the van Genuchten function (RETC program). As a result of the research, the parameters of the water retention capacity curve were obtained for the first time; the values of the soil-hydrological constants of chernozems southern and agrochernozems segregated thin heavy loam formed on loess-like loams were refined. The research results can be used to correct information on soil moisture reserves, to develop irrigation regimes for chernozems and agrochernozems in the Crimea, as well as for agrohydrological modeling of potential yields.

**Keywords:** water regime, water retention curve, humidity, moisture pressure, vertical moisture transfer, chernozems southern, agrochernozems segregated.

Филина Яна Александровна, младший научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: mrs.filina@gmail.com.

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

Рассказова Алевтина Сергеевна, техник лаборатории физики и технологии почв ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»; 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: a.bashina@yandex.ru.

Смагин Андрей Валентинович, доктор биологических наук, профессор по кафедре физики и мелиорации почв ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»; 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: smagin@list.ru.

Джапарова Айше Музафаровна, специалист отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: mtpiv@bk.ru.

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

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

Rasskazova Alevtina Sergeevna, technician of the Laboratory of physics and technology of soils, Lomonosov Moscow State University; GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia; e-mail: a.bashina@yandex.ru.

Smagin Andrey Valentinovich, Dr. Sc. (Biol.), Professor at the Department of physics and land reclamation, Lomonosov Moscow State University; GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia; e-mail: smagin@list.ru.

Dzhaparova Aishe Muzafarovna, specialist of digital monitoring and agroecosystems modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: mtpiv@bk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 10.02.2022.*

*Дата принятия к печати – 06.04.2022.*

УДК 579.2:581.1:632.122:633.11

EDN RVVHLA

Чайковская Л. А., Баранская М. И., Клименко Н. Н., Овсиенко О. Л.  
**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ  
МОЛОДЫХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ СТРЕССОВОМ  
ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Приведены результаты влияния микробных препаратов на компоненты неферментативной антиоксидантной системы защиты озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. при загрязнении почвы (чернозем южный) тяжелыми металлами (ТМ). Цель исследований – изучение влияния комплексных микробных препаратов (КМП) на формирование адаптивного потенциала озимой пшеницы на ранних этапах развития растений при загрязнении почвы ТМ (Pb, Cu, Cr) в условиях вегетационных опытов. Для предпосевной инокуляции семян использовали комплекс микробных препаратов, включающий: «Диазофит», препарат на основе *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, «Биополицид». Определены физиолого-биохимические параметры растений: функционирование компонентов антиоксидантных неферментативных систем (аскорбиновая кислота и глутатион) как показателя их адаптивности к ТМ. Установлено, что загрязнение почвы ТМ приводило к увеличению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях по сравнению с контролем на 10–82 % и в 1,4–3,0 раза соответственно в зависимости от уровня ПДК ТМ в почве. Предпосевная инокуляция семян способствует снижению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы по сравнению с инокулированными растениями: на 6–29 % и 14–30 % соответственно, а также повышает продуктивность растений на 9–38 % против контроля. Установлено наличие прямой, сильной корреляционной зависимости между содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы, достоверной как у инокулированных растений ( $r = 0,93–0,97$ ), так и у растений без инокуляции ( $r = 0,86–0,96$ ). Выявлена прямая, сильная и достоверная корреляционная связь между уровнем загрязнения почвы ТМ и содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы:  $r = 0,92–0,94$  (без инокуляции) и  $r = 0,88–0,93$  (с инокуляцией). Корреляционный анализ показал наличие обратной, сильной достоверной связи между продуктивностью молодых растений пшеницы и уровнем загрязнения почвы ТМ ( $r = -0,98$  и  $-0,99$ ), а также отрицательной связи между содержанием компонентов антиоксидантных неферментативных систем и продуктивностью ( $r = -0,98$  и  $-0,99$ ).

**Ключевые слова:** микробные препараты, озимая пшеница, тяжелые металлы, аскорбиновая кислота, глутатион, продуктивность.

**Для цитирования:** Чайковская Л. А., Баранская М. И., Клименко Н. Н., Овсиенко О. Л. Оценка влияния микробных препаратов на адаптивный потенциал озимой пшеницы при воздействии тяжелых металлов // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 181–191. EDN: RVVHLA.

**For citation:** Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Klimenko N. N., Ovsienko O. L. Evaluation of the effect of biological preparations on the adaptive potential of young winter wheat plants under the stressful impact of heavy metals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 181–191. EDN: RVVHLA.

### Введение

В природных условиях растения подвергаются воздействию различных неблагоприятных факторов. Формирование защитных эффектов адаптации растений обеспечивается не только активацией генетического аппарата, но также изменением

метаболизма клеток и функционирования основных систем организма. Одним из универсальных звеньев стрессового ответа растений является окислительный стресс. При этом в клетках увеличивается образование активных форм кислорода, что может привести к гибели организма. Развитие окислительного стресса отмечено при воздействии на растения вирусной и бактериальной инфекции, засухи, засоления, тяжелых металлов (ТМ) и др. Растения обладают различными эффективными системами защиты от окислительного стресса: синтезируют ферменты и антиоксиданты неферментативной природы (аскорбиновая кислота, глутатион и др.), устраняющие токсичные кислородные радикалы. В литературных источниках отмечено повышение содержания в растениях окислительных ферментов [1], а также глутатиона и аскорбиновой кислоты [2–7] при воздействии ТМ.

Известно, что ТМ являются одними из наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды. Включаясь в трофические цепи, они изменяют интенсивность метаболических процессов растений, что снижает их продуктивность и качество урожая. В загрязненных ТМ почвах нарушается интенсивность микробиологических процессов, снижается количество полезных микроорганизмов, что также негативно влияет на культурные растения [8, 9].

В экспериментальных исследованиях доказано, что микроорганизмы являются посредниками между почвенными условиями и растениями и могут значительно повысить устойчивость макросимбионта к стрессу [10]. В настоящее время созданы эффективные микробные препараты, которые успешно применяют в технологиях выращивания многих сельскохозяйственных растений [11–16]. Применение препаратов на основе полезных штаммов микроорганизмов – важный аспект биологизации современного земледелия, способствующий улучшению качества растительной продукции, снижению пестицидной нагрузки и стабилизирующий функционирование агроэкосистем [17–21]. Именно поэтому поиск приемов, повышающих устойчивость растений к негативному воздействию ТМ, не теряет актуальности. Особое место среди биопрепаратов занимают комплексные полифункциональные микробные препараты, созданные на основе ассоциаций микроорганизмов. В России и Украине разработаны технологические аспекты производства и применения комплексных микробных препаратов (КМП) на основе азотфиксирующих (симбиотических и ассоциативных), а также фосфатмобилизирующих бактерий [22, 23]. Применение этих препаратов позволяет эффективно защитить растения от различных стрессов, стимулировать их урожайность и качество продукции, а также сохранить плодородие почвы.

**Цель исследований** – изучение влияния КМП на формирование адаптивного потенциала (неферментативной антиоксидантной системы защиты) молодых растений озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. при загрязнении почвы ТМ (Pb, Cu, Cr) в условиях вегетационных опытов.

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

Для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. использовали комплекс микробных препаратов (КМП): «Диазофит» (основа – *Rhizobium radiobacter* 204, азотфиксатор и продуцент ростстимулирующих веществ); препарат на основе *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3, обладающий способностью к трансформации труднорастворимых соединений фосфора, продуцент фитогормонов [24]; «Биополицид» (основа – *Paenibacillus polymyxa* П, синтезирует хитиназу и антифунгальные компоненты) в соотношении 1:1:1. Изучаемые штаммы зарегистрированы в Крымской коллекции микроорганизмов ФГБУН «НИИСХ Крыма» (<http://ckp-rf.ru/usu/507484/>). В контроле семена увлажняли водой.

Серия вегетационных опытов проведена в теплице: растения выращивали в пластиковых сосудах (объем 0,5 л) в течение шести недель.



Почва – чернозем южный малогумусный карбонатный тяжелосуглинистый, содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 2,5 %; подвижных форм азота (ГОСТ 26951-86) и фосфора (по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91) – 5,3 и 2,6 мг/100 г почвы соответственно; рН водной вытяжки – 7,0–7,2. Повторность опытов шестикратная. В сосуды вносили воздушно-сухую почву, увлажняли водой (70 % влагоёмкости) и добавляли водные растворы солей ТМ:  $Pb(CH_3COO)_2$ ,  $CuSO_4$ ,  $K_2CrO_4$  в соответствии с различными уровнями предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязнения: 1,0; 2,5; 5,0 ПДК. В контрольных вариантах растворы ТМ в почву не вносили. Схема вегетационных опытов: 1. Контроль (без инокуляции), 2. КМП, 3. ТМ (1 ПДК), 4. ТМ (1 ПДК) + КМП, 5. ТМ (2,5 ПДК), 6. ТМ (2,5 ПДК) + КМП, 7. ТМ (5 ПДК), 8. ТМ (5 ПДК) + КМП. Отбор фитомассы растений для анализов проводили трижды: через две (I), четыре (II) и шесть (III) недель после всходов.

В лабораторных опытах проводили определение биохимических параметров растений, отвечающих за функционирование неферментативной антиоксидантной системы защиты (аскорбиновая кислота и глутатион). Определение массовой доли аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях озимой пшеницы проводили по методике Петга в модификации Прокошева [25]. Принцип выявления аскорбиновой кислоты в растительной пробе основан на ее способности восстанавливать 2,6-дихлорфенолиндофенол: раствор 2,6-дихлорфенолиндофенола синего цвета восстанавливается до бесцветного соединения экстрактами растений, содержащих аскорбиновую кислоту (реакция Тильманса). Определение глутатиона основано на его способности восстанавливать свободный йод, образующийся при титровании экстракта растений йодатом калия в кислой среде. Для получения экстракта 2 г листьев растирали в фарфоровой ступке с кварцевым песком и 20 мл 5 % раствора метафосфорной кислоты до однородной массы. Далее вытяжку переносили в мерную колбу на 50 мл и доводили объем до метки дистиллированной водой. Содержимое колбы перемешивали, отстаивали, затем снова взбалтывали в течение 2-х мин и фильтровали через сухой бумажный фильтр. Для определения содержания аскорбиновой кислоты отбирали в колбочки по 5 мл фильтрата и титровали из микробюретки 0,001 н раствором 2,6-дихлорфенолиндофенола до появления слабой розовой окраски. Для определения содержания глутатиона, отбирали в колбочки по 5 мл фильтрата, добавляли по две капли 15 % раствора КJ, пять капель 1 % крахмала и титровали раствором  $KJO_3$  до появления устойчивой слабо-синей окраски. Статистическая обработка полученных результатов проведены согласно общепринятым методам [26] и программы Statistica 7.0.

#### Результаты и их обсуждение

**Аскорбиновая кислота.** Результаты исследований показали, что содержание аскорбиновой кислоты в листьях растений контроля (без внесения ТМ), выросших из инокулированных и неинокулированных семян, составляло в первый отбор фитомассы (I) 0,15 и 0,17 мг/% соответственно (таблица 1). В дальнейшем отмечена тенденция к возрастанию содержания аскорбиновой кислоты в листьях контрольных растений до 0,30 мг/% (II) и 0,23 мг/% (III), что свидетельствует о её широком диапазоне в качестве стресс-показателя. Необходимо подчеркнуть, что даже незначительное загрязнение почвы ТМ (1 ПДК) приводило к увеличению содержания аскорбиновой кислоты в листьях растений, выросших из неинокулированных семян, по сравнению с контролем – на 10% (II) и 13% (III). Выявлено, что более интенсивное загрязнение почвы (2,5 и 5,0 ПДК ТМ) способствовало возрастанию содержания аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы во все сроки отбора фитомассы. Так, при загрязнении почвы на уровне 2,5 ТМ, количество аскорбиновой кислоты в листьях неинокулированных растений достигало 0,21 (I), 0,36 (II), 0,28 (III) мг/% против 0,17 (I), 0,30 (II), 0,23 (III) мг/% в контроле и возрастало на 23 %, 20 % и 22 %

соответственно. Внесение в почву ТМ на уровне 5,0 ПДК провоцировало еще большее накопление аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы, выросшей из неинокулированных семян: 0,31 (I), 0,39 (II), 0,31 (III) мг/% и возросло по сравнению с контролем на 82 %, 30 % и 35 % соответственно.

**Таблица 1 – Содержание аскорбиновой кислоты в листьях озимой пшеницы, мг/%**

Вариант	Срок отбора проб		
	две недели	четыре недели	шесть недель
контроль (без ТМ)			
Без инокуляции	0,17	0,30	0,23
КМП	0,15	0,29	0,23
НСР <sub>05</sub>	0,025	0,015	0,025
ТМ (1,0 ПДК)			
Без инокуляции	0,16	0,33	0,27
КМП	0,14	0,31	0,25
НСР <sub>05</sub>	0,025	0,025	0,025
ТМ (2,5 ПДК)			
Без инокуляции	0,21	0,36	0,28
КМП	0,15	0,33	0,26
НСР <sub>05</sub>	0,025	0,015	0,020
ТМ (5,0 ПДК)			
Без инокуляции	0,31	0,39	0,31
КМП	0,27	0,35	0,28
НСР <sub>05</sub>	0,015	0,020	0,025

Анализ полученных результатов показал, что предпосевная инокуляции семян (КМП) способствует снижению содержания аскорбиновой кислоты в листьях бактеризованных растений на 6–29 % по сравнению с растениями, выросшими из семян без инокуляции (таблица 1). Однако, наиболее четкое и достоверное воздействие микробных препаратов на содержание аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы выявлено у молодых растений (I): оно уменьшалось на 12 %, 29 % и 13 % при загрязнении почвы на уровне 1,0; 2,5 и 5,0 ПДК ТМ соответственно. На наш взгляд, это свидетельствует о снижении окислительного стресса, возникающего вследствие загрязнения почвы ТМ. Подобная тенденция отмечена в дальнейшем (II и III) для растений, выросших на загрязненной ТМ почве. Так, предпосевная инокуляция семян способствовала снижению содержания аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы на 6–10 % (II) и 7–10 % (III).

**Глутатион.** Известно, что глутатион является активным антиоксидантом и одним из наиболее четких показателей, характеризующим стрессовое воздействие ТМ на растения [7, 27]. Рассмотрим данные, полученные в наших экспериментах (таблица 2). Анализ результатов (I) показал, что содержание глутатиона в листьях контрольных растений (почва без ТМ), выросших из инокулированных и неинокулированных семян, различалось незначительно и составляло 26,4 и 25,4 мг/г соответственно. Выявлено, что загрязнение почвы ТМ приводило к увеличению содержания глутатиона в листьях озимой пшеницы во всех вариантах опыта. Так, в листьях растений, выросших из неинокулированных семян, оно возросло до 38,6; 36,6 и 68,2 мг/г при загрязнении почвы ТМ на уровне 1,0; 2,5 и 5,0 ПДК соответственно, что превышало контроль на 11,2–42,8 мг/г или в 1,5–2,7 раза. Подобная тенденция сохранилась и в последующие отборы – содержание глутатиона в листьях растений контрольного варианта варьировало незначительно и составляло 22,3–23,7 (II) и 24,8–25,4 мг/г (III). Максимальное значение содержания глутатиона в листьях отмечено у пшеницы, выросшей на загрязненной ТМ почве: оно достигало 45,8; 46,9; 71,5 мг/г (II) и 41,8; 52,7; 62,3 мг/г (III) на уровне 1,0; 2,5 и 5,0 ПДК ТМ соответственно.

Количество глутатиона в листьях пшеницы, выросшей на загрязненной почве, превышало его содержание в контрольных растениях (почва без ТМ) на 22,1–47,8 мг/г или в 2–3 раза (II) и 17,0–37,5 мг/г или в 1,6–2,5 раза (III).

**Таблица 2 – Содержание глутатиона в листьях пшеницы озимой, мг/г**

Вариант	Срок отбора проб		
	две недели	четыре недели	шесть недель
контроль (без ТМ)			
Без инокуляции	25,4	23,7	24,8
КМП	26,4	22,3	25,4
НСР <sub>05</sub>	0,30	0,50	0,46
ТМ (1,0 ПДК)			
Без инокуляции	38,6	45,8	41,8
КМП	38,5	33,4	29,1
НСР <sub>05</sub>	4,01	4,77	3,98
ТМ (2,5 ПДК)			
Без инокуляции	36,6	46,9	52,7
КМП	35,5	36,6	37,9
НСР <sub>05</sub>	3,29	4,50	5,18
ТМ (5,0 ПДК)			
Без инокуляции	68,2	71,5	62,3
КМП	58,8	50,2	53,5
НСР <sub>05</sub>	4,21	5,89	4,27

Рассмотрим воздействие предпосевной инокуляции (КМП) семян на содержание глутатиона в листьях бактеризованных растений при загрязнении почвы ТМ. Необходимо отметить, что у растений двухнедельного возраста (I) не выявлено существенного влияния инокуляции на содержание глутатиона в листьях при загрязнении почвы ТМ на уровне 1,0 и 2,5 ПДК (таблица 2). В то же время отмечено достоверное снижение массовой доли глутатиона в листьях пшеницы, выращенной из инокулированных семян, при загрязнении почвы на уровне 5,0 ПДК ТМ: на 9,4 мг/г (14 %) против варианта без инокуляции. Однако, наиболее четкие результаты влияния предпосевной бактеризации семян на содержание глутатиона в листьях пшеницы выявлены у растений четырех- (II) и шестинедельного (III) возрастов: инокуляция способствовала достоверному снижению содержания глутатиона по сравнению с неинокулированными растениями на 10,3–21,3 мг/г или 22–30 % (II) и 8,8–14,8 мг/г или 14–30 % (III). Установлено, что применение КМП для инокуляции семян озимой пшеницы способствует снижению массовой доли глутатиона в листьях растений по сравнению с неинокулированными: на 8–21 мг/г (14–30 %). На наш взгляд, это свидетельствует о повышении адаптивного потенциала бактеризованных растений к негативным воздействиям ТМ и менее интенсивном развитии окислительного стресса.

Снижение содержания антиоксидантов неферментативной природы (аскорбиновой кислоты и глутатиона) в листьях бактеризованных растений озимой пшеницы свидетельствует о формировании адаптивных реакций к воздействию ТМ и повышению устойчивости растений к окислительному стрессу.

Корреляционный анализ результатов (I – двухнедельные растения) показал, что между концентрацией аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы установлена прямая, сильная корреляционная зависимость, достоверная как при инокуляции семян КМП ( $r = 0,94$ ), так и для неинокулированных растений ( $r = 0,87$ ) (таблица 3). Установлено также, что содержание аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях связано с концентрацией ТМ в почве прямой, тесной зависимостью: значение коэффициента корреляции ( $r$ ) составляло 0,88–0,93 и 0,92–0,94 для бактеризованных и неинокулированных растений соответственно. Не выявлено

существенных изменений зависимостей антиоксидантов между собой и уровнем загрязнения почвы ТМ в течение эксперимента. Так, корреляционный анализ результатов (II – четырехнедельные растения) показал, что теснота связи между уровнем ПДК ТМ в почве и содержанием антиоксидантов в листьях незначительно увеличилась по сравнению с предыдущим отбором (I): значение  $r$  достигало 0,95 для растений без инокуляции и 0,96 – для бактеризованных. Коэффициент корреляции между содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях несколько снизился по сравнению с I и составил 0,86 и 0,93 для неинокулированных и бактеризованных растений соответственно.

**Таблица 3 – Показатели коэффициентов корреляции между содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях озимой пшеницы**

Компонент неферментативного антиоксидантного комплекса	Загрязнение почвы ТМ		Аскорбиновая кислота	
	контроль	КМП	контроль	КМП
две недели				
Аскорбиновая кислота	0,92*	0,88*	-	-
Глутатион	0,94*	0,93*	0,87*	0,94*
четыре недели				
Аскорбиновая кислота	0,95*	0,83*	-	-
Глутатион	0,95*	0,96*	0,86*	0,93*
шесть недель				
Аскорбиновая кислота	0,92*	0,97*	-	-
Глутатион	0,95*	1,00*	0,96*	0,97*

*Примечание.* \* Достоверно при  $p = 0,05$ .

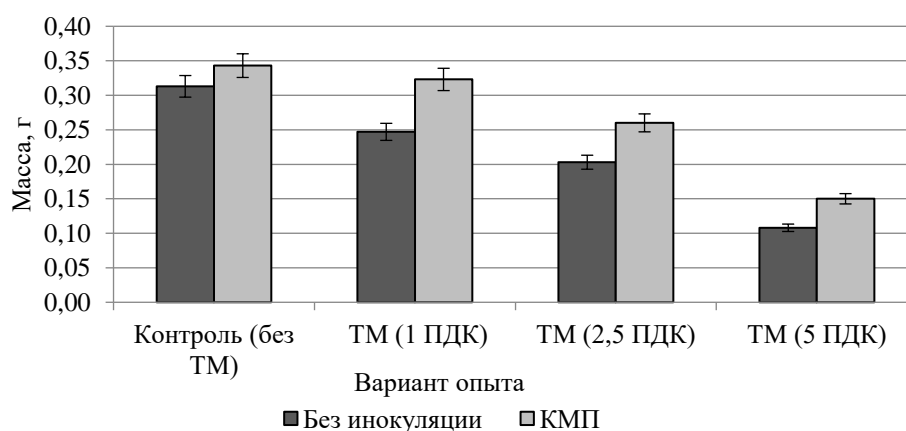
При завершении опыта (III) корреляционные зависимости между уровнем загрязнения почвы ТМ и компонентами неферментативного антиоксидантного комплекса в листьях возросли у бактеризованных растений до 0,97–1,00 (см. таблицу 3). Корреляционная связь между уровнем загрязнения почвы ТМ и содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях была прямой, сильной и достоверной. Зависимости между содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы стали более тесными, чем в период 2–4 недели и составили для неинокулированных растений 0,96, а для КМП – 0,97. Необходимо отметить, что значения коэффициентов корреляции при бактеризации семян пшеницы превышали таковые у растений без инокуляции.

**Продуктивность растений.** Как известно, воздействие различных стресс-факторов на растения очень часто сказывается на их продуктивности. Рассмотрим влияние ТМ на накопление фитомассы молодыми растениями озимой пшеницы (III) в возрасте шести недель (рисунок 1). Анализ полученных результатов показал, что загрязнение почвы ТМ даже в незначительной мере (1 ПДК) снижает фитомассу растений на 21 % по сравнению с контрольным вариантом (до 0,247 г против 0,313 г). Увеличение уровня загрязнения почвы ТМ (до 2,5 и 5,0 ПДК) привело к еще большему снижению фитомассы озимой пшеницы против контроля: до 0,203 и 0,108 г/растение (на 35,0 % и 65,5 %) соответственно.

Рассмотрим воздействие изучаемых микробных препаратов на продуктивность молодых растений озимой пшеницы. Применение КМП для предпосевной инокуляции семян способствует возрастанию фитомассы растений озимой пшеницы как в контроле, так и при загрязнении почвы ТМ.

Так, применение КМП обеспечило прибавку фитомассы на 9,6 % (0,30 г/растение) в контроле. При загрязнении почвы на уровне 5, 10 и 20 ПДК ТМ продуктивность фитомассы пшеницы, выросшей из инокулированных семян, возрастала по сравнению с вариантами без инокуляции на 30,8 %, 28,0 % и 38,8 %

соответственно. Следовательно, результаты наших опытов свидетельствуют о положительном влиянии КМП на продуктивность молодых растений озимой пшеницы: она возростала по сравнению с неинокулированными растениями на 9,6–38,8 % в зависимости от варианта опытов и уровня загрязнения почвы ТМ.



**Рисунок 1 – Фитомасса молодых растений озимой пшеницы (возраст – шесть недель)**

Известно, что продуктивность растений является результирующим показателем, характеризующим состояние растения. Корреляционный анализ показал, что продуктивность озимой пшеницы существенно снижалась при возрастании уровня загрязнения почвы как у растений без инокуляции, так и при использовании КМП для бактериализации семян:  $r = -0,97$  и  $-1,00$  соответственно связь обратная, сильная, достоверная (таблица 4). Установлена отрицательная связь между содержанием аскорбиновой кислоты, глутатиона и продуктивностью растений ( $r = -0,98$  и  $-0,99$ ). Об этом свидетельствует значительное увеличение показателей антиоксидантного комплекса в листьях пшеницы при возрастании уровня загрязнения почвы ТМ с одновременным снижением продуктивности.

**Таблица 4 – Корреляционные зависимости между продуктивностью озимой пшеницы, загрязнением почвы ТМ, содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях**

Компонент неферментативного антиоксидантного комплекса	Загрязнение почвы ТМ		Аскорбиновая кислота		Глутатион	
	контроль	КМП	контроль	КМП	контроль	КМП
Продуктивность растений	-0,97*	-1,00*	-0,98*	-0,98*	-0,99*	-0,99*

*Примечание.* \* Достоверно при  $p = 0,05$ .

Установлены тесные корреляционные зависимости между показателями антиоксидантного неферментативного комплекса и уровнем загрязнения почвы, а также их связи с продуктивностью молодых растений озимой пшеницы.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о позитивном влиянии предпосевной инокуляции (КМП) семян озимой пшеницы на физиолого-биохимические параметры (на примере содержания массовой доли аскорбиновой кислоты и глутатиона как компонентов неферментативной антиоксидантной системы защиты), что способствует формированию адаптивного потенциала растений к стрессовому воздействию ТМ. Установлено также положительное влияние КМП на продуктивность молодых растений озимой пшеницы: она возростала по сравнению с неинокулированными растениями на 9,6–38,8 % в зависимости от варианта опытов и уровня загрязнения почвы ТМ.

### Выводы

Исследовано влияние комплекса микробных препаратов (КМП) на физиолого-биохимические показатели молодых растений озимой пшеницы при загрязнении почвы ТМ (Pb, Cu, Cr) в условиях модельных вегетационных опытов (почва чернозем южный тяжелосуглинистый). Определено содержание в листьях массовой доли компонентов неферментативной антиоксидантной системы (аскорбиновой кислоты и глутатиона) как показателей их адаптивности к ТМ.

Установлено, что загрязнение почвы ТМ приводило к увеличению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях озимой пшеницы. Показано, что бактериализация способствует снижению содержания аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы по сравнению с инокулированными растениями: на 6–29 % и 14–30 % соответственно. Определено положительное влияние бактериализации на продуктивность озимой пшеницы: в условиях модельных вегетационных опытов она возрастала на 9,6–38,8 % против контроля.

Установлено наличие прямой, сильной корреляционной зависимости между содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы, достоверной как в случае применения КМП для инокуляции семян ( $r = 0,93–0,97$ ), так и для растений без инокуляции ( $r = 0,86–0,96$ ). Выявлена прямая, сильная и достоверная корреляционная связь между уровнем загрязнения почвы ТМ и содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы:  $r = 0,92–0,94$  (без инокуляции) и  $0,88–0,93$  (КМП). Корреляционный анализ показал наличие обратной, сильной достоверной связи между уровнем загрязнения почвы ТМ и продуктивностью пшеницы:  $r = -0,97$  и  $-1,00$ , а также отрицательной связи между содержанием аскорбиновой кислоты и глутатиона в листьях пшеницы и продуктивностью молодых растений ( $r = -0,98$  и  $-0,99$ ).

### Литература

1. Синютина С. Е., Можаров А. В., Зайченко М. А. Влияние солей свинца и никеля на ферментативную активность ячменя // Вестник Тамбовского государственного университета. 2013. Т. 18. Вып. 1. С. 255–257.
2. Сыщиков Д. В. Состояние антиоксидантной глутатионзависимой системы проростков кукурузы при действии соединений кадмия // Вестник Харьковского аграрного университета. Серия «Биология». 2009. Вып. 1(16). С. 45–51.
3. Grishko V. N. Functioning of somelinks of the non-enzymatic antioxidant protection system of plant cell at the fluorine action // Материалы Международной конференции «Современная физиология растений: от молекул до экосистем». Часть 2. Сыктывкар: Институт биологии Коми, 2007. С. 101–103.
4. Maier E. A., Matthews R. D., McDowell J. A., Walden R. R., Ahner B. A. Environmental cadmium levels increase phytochelatin and glutathione in lettuce grown in a chelator-buffered nutrient solution // J. Environ. Qual. 2003. Vol. 32. No. 4. P. 1356–1364. DOI: 10.2134/jeq2003.1356.
5. Чайковская Л. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л., Клименко Н. Н. Влияние бактериализации на устойчивость пшеницы озимой к воздействию тяжелых металлов // Научные труды SWorld. 2015. Вып. 12. № 3 (40). С. 7–12.
6. Mostofa M. G., Hossain M. A., Fujita M., Tran L-S.P. Physiological and biochemical mechanisms associated with trehalose-induced copper-stress tolerance in rice // Scientific Reports. Biology, Medicine. 2015. Vol. 5. Art. No. 11433. DOI: 10.1038/srep11433.
7. Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Al Mahmud J., Alharby H. F., Fujita M. Exogenous glutathione attenuates lead-induced oxidative stress in wheat by improving antioxidant defense and physiological mechanisms // Journal of Plant Interactions. 2018. Vol. 13(1). P. 203–212. DOI: 10.1080/17429145.2018.1458913.
8. Иутинская Г. А. Математическое моделирование в микробиологическом мониторинге почв, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. 2005. № 5. С. 594–599.
9. Биорегуляция микробно-растительных систем: монография // Под общ. ред. Иутинской Г. А., Пономаренко С. П. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.
10. Белимов А. А., Тихонович И. А. Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений // Сельскохозяйственная микробиология. 2011. № 3. С. 17–22.
11. Чеботарь В. К., Завалин А. А., Кипрушкина Е. Н. Эффективность применения биопрепарата Экстрасол. М.: Издательство ВНИИА, 2007. 216 с.

12. Khan M. S., Zaidi A., Wani P. A. Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review // *Agronomy for Sustainable Development*. 2007. Vol. 27(1). P. 29–43. DOI: 10.1051/agro:2006011.
13. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур // За заг. ред. Волкогона В. В. Київ: Аграрна наука, 2011. 156 с.
14. Mostafiz S. B., Rahman M. Biotechnology: role of microbes in sustainable agriculture and environmental health // *The Internet Journal of Microbiology*. 2012. Vol. 10 (1). [Electronic resource]. Access point: <https://ispub.com/IJMB/10/1/14136> (reference's date 30.03.2022).
15. Фосфатмобилизующие бактерии в агроценозах Крыма: монография // Под ред. Чайковской Л. А. Симферополь: "АРИАЛ", 2018. 156 с.
16. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика // За заг. ред. Волкогона В. В. Київ: Аграрна наука, 2006. 312 с.
17. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // *Сельскохозяйственная микробиология*. 2011. № 3. С. 3–9.
18. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for the managing phosphorus deficiency in agricultural soils // *Springer Plus*. 2013. Vol. 2(587). P. 1–14. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
19. Біотехнологія ризосфери овочевих рослин: монографія // За ред. Патики В. П. Вінниця: «ПП«ТД Едельвейс і К», 2015. 266 с.
20. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Springer, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
21. Новые технологи производства и применения биопрепаратов комплексного действия // Под ред. Завалина А. А., Кожемякова А. П. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. 64 с.
22. Iutynska G. O., Biliavska L. O., Titova L. V., Leonova N. O., Yamborko N. A., Petruk T. V., Vozniuk S. V., Litovchenko A. M. Microbial bioformulations for plant growing. Methodical recommendations. Kyiv: Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, 2017. 84 с.
23. Патент РФ № 2676926 «Фосфатмобилизующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности» // Авторы: Чайковская Л. А., Мельничук Т. Н., Каменева И. А., Баранская М. И., Овсиенко О. Л. 2019. Бюлл. № 2. 12 с.
24. Грицаенко З. М., Грицаенко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. 320 с.
25. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Книга по требованию, 2012. 351 с.
26. Most P., Papenbrock J. Possible Roles of plant sulfurtransferases in detoxification of cyanide, reactive oxygen species, selected heavy metals and arsenate // *Molecules*. 2015. Vol. 20. P. 1410–1423. DOI: 10.3390/molecules20011410.

## References

1. Sinyutina S. E., Mozharov A. V., Zaichenko M. A. Influence of lead and nickel salts on enzymatic activity of barley // *Tambov University Reports. Series "Natural and Technical Sciences"*. 2013. Vol. 18(1). P. 255–257.
2. Syshchikov D. V. State of antioxidant glutathionedependent system of maize plantlets at actions of cadmium compounds // *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Biology"*. 2009. Vol. 1 (16). P. 45–51.
3. Grishko V. N. Functioning of some links of the non-enzymatic antioxidant protection system of plant cell at the fluorine action // *Materials of International Conference "The modern plant physiology: from molecules to ecosystems"*. 2007. Part 2. Syktyvkar: Institute of Biology of Komi. P. 101–103.
4. Maier E. A., Matthews R. D., McDowell J. A., Walden R. R., Ahner B. A. Environmental cadmium levels increase phytochelatin and glutathione in lettuce grown in a chelator-buffered nutrient solution // *J. Environ. Qual.* 2003. Vol. 32(4). P. 1356–1364. DOI: 10.2134/jeq2003.1356.
5. Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L., Klymenko N. N. The influence of bacterization on the resistance of winter wheat to the effects of heavy metals // *Scientific papers of SWorld*. 2015. Vol. 12. No. 3(40). P. 7–12.
6. Mostafa M. G., Hossain M. A., Fujita M., Tran L-S.P. Physiological and biochemical mechanisms associated with trehalose-induced copper-stress tolerance in rice // *Scientific Reports. Biology, Medicine*. 2015. Vol. 5. Art. No. 11433. DOI: 10.1038/srep11433.
7. Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Al Mahmud J., Alharby H. F., Fujita M. Exogenous glutathione attenuates lead-induced oxidative stress in wheat by improving antioxidant defense and physiological mechanisms // *Journal of Plant Interactions*. 2018. Vol. 13(1). P. 203–212. DOI: 10.1080/17429145.2018.1458913.

8. Iutynskaya G. A. Mathematical modeling in the microbiological monitoring of soil contaminated with heavy metals // Eurasian Soil Science. 2005. No. 5. P. 528–532.
9. Bioregulation of microbial-plant systems: monograph // Ed. by Iutynskaya G. O., Ponomarenko S. P. Kyiv: Nichlava, 2010. 464 p.
10. Belimov A. A., Tikhonovich I. A. Microbiological aspects of resistance and accumulation of heavy metals by plants // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2011. No. 3. P. 10–15.
11. Chebotar V. K., Zavalin A. A., Kiprushkina E. I. Efficiency of application of biopreparation Extrasol. Moscow: Publishing house of All Russia Research Institute of Agrochemistry, 2007. 216 p.
12. Khan M. S., Zaidi A., Wani P. A. Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review // Agronomy for Sustainable Development. 2007. Vol. 27(1). P. 29–43. DOI: 10.1051/agro:2006011.
13. Methodology and practice of using microbial agents in agricultural crop cultivation technologies // Ed. by Volkogon V. V. Kyiv: Agrarna Nauka, 2011. 156 p.
14. Mostafiz S. B., Rahman M. Biotechnology: role of microbes in sustainable agriculture and environmental health // The Internet Journal of Microbiology. 2012. Vol. 10 (1). [Electronic resource]. Access point: <https://ispub.com/IJMB/10/1/14136> (reference's date 30.03.2022).
15. Phosphate-mobilizing bacteria in the agrocenosis of Crimea: monograph // Ed. by Chaikovskaya L. A. Simferopol: ARIAL, 2018. 156 p.
16. Microbial preparations in agriculture. Theory and practice: monograph // Ed. by Volkogon V. V. Kyiv: Agrarna Nauka, 2006. 312 p.
17. Tikhonovich I. A., Provorov N. A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2011. No. 3. P. 3–9.
18. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for the managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2(1). Art No. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
19. Biotechnology of vegetable plants rhizosphere: monograph // Ed. by Patyka V. P. Vinnitsa: “SH Edelweiss & K”, 2015. 266 p.
20. Khan M. S., Zaidi A., Musarrat J. Phosphate solubilizing microorganisms: principles and application of microphos technology. Springer International Publishing, 2014. 307 p. DOI: 10.1007/978-3-319-08216-5.
21. New technologies of production and application of complex action biopreparations // Ed. by Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P. Saint-Petersburg: KHIMIZDAT, 2010. 64 p.
22. Iutynska G. O., Biliavska L. O., Titova L. V., Leonova N. O., Yamborko N. A., Petruk T. V., Vozniuk S. V., Litovchenko A. M. Microbial bioformulations for plant growing. Methodical recommendations. Kyiv: Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, 2017. 84 p.
23. Patent RF No. 2676926 “Phosphate-mobilizing strains of soil bacteria *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3 and biopreparation on its basis for the optimization of mineral nutrition of plants, stimulates their growth and increase yields application” // Authors: Chaikovskaya L. A., Melnichuk T. N., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. 2019. Bul. No. 2. 12 p.
24. Gritsaenko Z. M., Gritsaenko A. A., Karpenko V. P. Methods of biological and agrochemical research of plants and soils. Kyiv: Nichlava, 2003. 320 p.
25. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kniga po trebovaniju, 2012. 351 p.
26. Most P., Papenbrock J. Possible roles of plant sulfurtransferases in detoxification of cyanide, reactive oxygen species, selected heavy metals and arsenate // Molecules. 2015. Vol. 20. P. 1410–1423. DOI: 10.3390/molecules20011410.

UDC 579.2: 581.1:632.122:633.11

Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I., Klimenko N. N., Ovsienko O. L.

### **EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOLOGICAL PREPARATIONS ON THE ADAPTIVE POTENTIAL OF YOUNG WINTER WHEAT PLANTS UNDER THE STRESSFUL IMPACT OF HEAVY METALS**

**Summary.** *The results of the influence of microbial preparations on the components of the non-enzymatic antioxidant protection system of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) when soil (chernozem southern) was contaminated with heavy metals (HM) are presented. The aim of our research was to study the influence of complex microbial preparations (CMP) on the formation of adaptive potential of winter wheat at the early stages of plant development when the soil was contaminated with HM (Pb, Cu, Cr) in pot (vegetation) experiments. For pre-sowing seed inoculation, we used CMP that contains 1) “Diazophyte”; 2) preparation based on *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3; 3)*



*“Biopolycid”*. The physiological and biochemical parameters of plants were determined, namely functioning of antioxidant non-enzymatic systems components (ascorbic acid and glutathione) as an indicator of their adaptability to HM. Compared to control, soil contamination with HM led to an increase in the ascorbic acid and glutathione content in the *T. aestivum* leaves by 10–82 % and 1.4–3.0 times, respectively, depending on the level of maximum permissible concentrations (MPC) of HM in the soil. Pre-sowing seed inoculation reduced the content of ascorbic acid and glutathione in wheat leaves compared to non-inoculated plants: by 6–29 % and 14–30 %, respectively; moreover, plant productivity also increased (by 9–38% compared to control). A direct, strong correlation between the content of ascorbic acid and glutathione in wheat leaves was established; it was reliable both in variants with inoculated ( $r = 0.93–0.97$ ) and non-inoculated ( $r = 0.86–0.96$ ) plants. Direct, strong and reliable correlation between the level of soil contamination with HM and the content of ascorbic acid and glutathione in wheat leaves was founded:  $r = 0.92–0.94$  (without inoculation),  $r = 0.88–0.93$  (with inoculation). Correlation analysis demonstrated the presence of inverse, strong reliable relationship between the productivity of young wheat plants and the level of soil contamination with HM ( $r = -0.98$  and  $-0.99$ ), as well as negative relationship between the content of components of antioxidant non-enzymatic systems and productivity ( $r = -0.98$  and  $-0.99$ ).

**Keywords:** microbial preparations, winter wheat, heavy metals, ascorbic acid, glutathione, productivity.

Чайковская Людмила Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Баранская Марина Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Клименко Нина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, исполняющая обязанности заведующей отделом сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Овсиенко Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник лаборатории растительно-микробного взаимодействия ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295053, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: olovsiien@mail.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, 295053, Russia; e-mail: ludachaika@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, 295053, Russia; e-mail: baranskaya@rambler.ru.

Klimenko Nina Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, acting head of the Department of Agricultural Microbiology, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295000, Russia; e-mail: ninaklymenko@yandex.ru.

Ovsienko Olga Leonidovna, senior researcher, Laboratory of plant-microbe interaction, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295053, Russia; e-mail: ludachaika@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 17.02.2022.

Дата принятия к печати – 15.03.2022.

УДК 633.14: 631.527  
EDN YZJNGDШляхтина Е. А.  
**АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ В УСЛОВИЯХ  
КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

**Реферат.** Важной задачей в селекции озимой ржи является создание сортов со стабильно высокой урожайностью в различных условиях произрастания. Цель исследований – провести оценку экологической адаптивности семи сортов озимой ржи селекции ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока» (Рушник, Флора, Графиня, Кипрез, Ниоба, Батист, Сармат), выращенных в широком диапазоне метеоусловий. Исследования проведены в 2011–2020 гг. на опытных полях Фалёнской селекционной станции – филиала ФАНЦ Северо-Востока (Кировская область). В среднем за годы исследований наиболее высокую урожайность сформировал перспективный сорт Батист (5,26 т/га). Зависимость формирования урожайности озимой ржи от влияния факторов условий среды составила 62,2 %, также отмечен высокий вклад взаимодействия факторов «генотип – среда» – 24,2 %. Выделены сорта интенсивного типа: Рушник ( $b_i = 1,17$ ), Графиня ( $b_i = 1,11$ ), Ниоба ( $b_i = 1,43$ ), отзывчивые на изменения условий среды. У сортов Флора и Батист выявлена слабая реакция на изменение условий среды ( $b_i = 0,73$ ;  $0,80$  соответственно) и стабильно высокая урожайность (4,91 и 5,26 т/га соответственно). Высокая общая адаптивная способность отмечена у сорта Батист ( $OAC_i = 0,40$ ). Анализ показателей экологической адаптивности позволил выделить сорта с оптимальным сочетанием продуктивности и адаптивности: Флора ( $SAC_i = 0,78$ ;  $Sg_i = 16$  %;  $K_{gi} = 0,65$ ), Батист ( $SAC_i = 0,83$ ;  $Sg_i = 16$  %;  $K_{gi} = 0,74$ ). По параметру «селекционная ценность» генотипа выделены сорта: Батист ( $CCG_i = 3,39$ ), Флора ( $CCG_i = 3,15$ ), Кипрез ( $CCG_i = 3,06$ ). Установлена достоверно высокая корреляция между показателями адаптивности:  $SAC_i$  и  $Sg_i$  ( $r = 0,97$ ),  $SAC_i$  и  $K_{gi}$  ( $r = 1,00$ ),  $Sg_i$  и  $K_{gi}$  ( $r = 0,97$ ),  $CCG_i$  и  $SAC_i$  ( $r = -0,94^{**}$ ),  $CCG_i$  и  $Sg_i$  ( $r = -0,99$ ),  $CCG_i$  и  $K_{gi}$  ( $r = -0,95$ ). Согласно комплексной оценке наиболее адаптивным признан сорт Батист.

**Ключевые слова:** *Secale cereale* L., сорт, урожайность, адаптивная способность, стабильность, селекционная ценность.

**Для цитирования:** Шляхтина Е. А. Адаптивный потенциал сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 192–199. EDN: YZJNGD.

**For citation:** Shlyakhtina E. A. Adaptive potential of winter rye varieties under conditions of Kirov region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 192–199. EDN: YZJNGD.

**Введение**

Основные сеющие озимую рожь регионы в России находятся в Приволжском федеральном округе – это 74 % всех посевных площадей ржи в стране. В Кировской области площадь посевов озимой ржи составляет 58,0 тыс. га, из них более 60 % занимают сорта ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока» [1]. Актуальная проблема в селекции озимой ржи (*Secale cereale* L.) – это создание сортов со стабильно высокой урожайностью в различных климатических условиях. Урожайность – это сложный комплексный признак, который определяется генотипом, окружающей средой и эффектами их взаимодействия [2]. Стрессовое воздействие климатических факторов существенно влияет на рост и развитие растений [3], что в дальнейшем ограничивает потенциал урожайности растений [4]. В процессе создания

сортов озимой ржи важное требование – устойчивость их к нерегулируемым факторам внешней среды, которые ограничивают формирование потенциально возможной урожайности [5]. Поэтому оценка адаптивного потенциала сортов в природно-климатических условиях произрастания на последних этапах селекционного процесса является наиболее актуальным вопросом производства и внедрения сельскохозяйственной продукции [6]. Для выделения перспективных, высокоурожайных, адаптивных, стабильных сортов в контрастных климатических условиях конкретного региона используются различные статистические методы (Wricke, 1962; Finlay, Wilkinson, 1963; Eberhart, Russel, 1966; Tai, 1971; Shukla, 1972; Кильчевский, Хотылева, 1985; Lin, Binns, 1988; Huehn, 1990) [7]. Большое внимание стоит уделять оценке сортов по параметрам адаптивности и стабильности, что позволит выделить перспективные генотипы для дальнейшей селекции [8].

Селекционная работа в ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока» направлена на выведение, а в дальнейшем – на внедрение в производство урожайных сортов озимой ржи, которые сочетают в себе потенциал адаптивности в различные по метеословиям годы.

**Цель исследований** – провести скрининг адаптивных свойств сортов озимой ржи для выявления лучших генотипов для выращивания в условиях Волго-Вятского региона.

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

Исследования проводили в 2011–2020 гг. на селекционных полях Фалёнской селекционной станции – филиала ФАНЦ Северо-Востока (Кировская область). Агрохимические показатели почвы: рН солевой вытяжки – 5,0–5,2 ед. (ГОСТ Р 26483-85); содержание ионов  $Al^{3+}$  – 5,0–6,5 мг/100 г почвы (по Соколову А. В.); содержание подвижного фосфора и калия – 272–316 мг/кг и 150–183 мг/кг соответственно (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011).

Агротехника: предшественник – чистый пар, норма высева – 6 млн всхожих семян на 1 га. Посев проводили сеялкой СКС-10, учетная площадь делянок – 10 м<sup>2</sup>, в шестикратной повторности. Объекты исследований – сорта озимой ржи конкурсного сортоиспытания селекции ФАНЦ Северо-Востока: три сорта, внесенных в Государственный реестр селекционных достижений (Рушник, Флора, Графиня), и четыре перспективных (Кипрез, Ниоба, Батист, Сармат). Полученные экспериментальные данные сравнивали с показателями стандарта (сорт Фалёнская 4).

Математическую обработку результатов осуществляли с помощью пакета селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS версия 2.07. Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по Г. Т. Селянину: увлажнение избыточно – более 1,5; оптимально – 1,0–1,5; засушливо – 0,5–1,0; засуха – менее 0,5. Коэффициент регрессии ( $b_i$ ), индекс условий среды ( $I_j$ ) рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966), оценку общей и специфической адаптивной способности сортов, относительную стабильность сорта, коэффициент компенсации и селекционную ценность определяли методом А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой [9].

Условия зимнего периода во все годы изучения проходили неблагоприятно для перезимовки озимой ржи. На фоне высокого снежного покрова и повышенной температуры на глубине залегания узла кущения происходило сильное развитие снежной плесени. Vegetационные периоды по степени увлажнения значительно отличались по годам: 2011, 2014, 2015, 2018 и 2020 гг. – периоды с оптимальным увлажнением (ГТК = 1,26; 1,10; 1,59; 1,30; 1,11 соответственно); 2013 и 2016 гг. – засушливые (ГТК = 0,74 и 0,60 соответственно); 2012, 2017 и 2019 гг. – сильно увлажненные (ГТК = 2,10; 1,89 и 1,92), что позволило объективно оценить экологическую адаптивность изучаемых сортов по уровню продуктивности (таблица 1).

Таблица 1 – Метеопараметры 2011–2020 гг. (данные метеостанции п. Фалёнки, Кировской области)

Год	Месяц							
	май		июнь		июль		август	
	среднесуточная температура, °С	сумма осадков, мм	среднесуточная температура, °С	сумма осадков, мм	среднесуточная температура, °С	сумма осадков, мм	среднесуточная температура, °С	сумма осадков, мм
2011	12,1	39,5	16,6	72,4	20,5	72,1	14,9	52,4
2012	12,2	63,6	17,3	95,1	19,1	65,9	16,3	122,3
2013	11,9	26,2	18,4	49,6	19,5	47,9	17,4	15,0
2014	14,4	8,9	14,8	108,0	15,4	49,4	17,3	82,6
2015	13,9	31,0	18,0	74,9	14,9	80,4	13,4	132,0
2016	13,1	11,2	15,9	15,6	20,3	51,0	20,9	32,2
2017	7,5	58,9	14,0	58,6	17,3	158,9	16,6	24,5
2018	10,6	58,1	14,1	77,2	20,3	73,8	16,0	44,3
2019	13,2	33,0	15,1	108,0	15,9	75,3	13,0	157,3
2020	12,1	65,1	14,3	45,8	20,2	84,1	14,7	52,3
среднепоголетние								
	10,3	46,0	16,0	66,0	17,8	77,0	14,7	66,0

### Результаты и их обсуждение

Одним из главных критериев ценности сорта является стабильно высокая урожайность в различные по метеоусловиям годы. За период изучения (2011–2020 гг.) достаточно благоприятные условия для произрастания озимой ржи складывались в 2011 г., 2012 г., 2018 г., 2019 г. и 2020 г., индекс условий среды (I<sub>j</sub>) имел положительное значение (варьировал от 0,55 до 1,07). В эти годы сорта озимой ржи формировали наиболее высокую урожайность (средняя по опыту составляла от 5,40 т/га до 5,92 т/га). Отрицательное значение индекса (–0,76...–1,33) в остальные годы говорит о неблагоприятном гидротермическом режиме для роста и развития растений, что негативно отразилось на формировании урожайности озимой ржи. Так, в условиях засухи (2016 г.) и сильного переувлажнения (2017 г.) получена самая низкая средняя урожайность сортов (3,95 и 3,52 т/га соответственно) (рисунок 1).

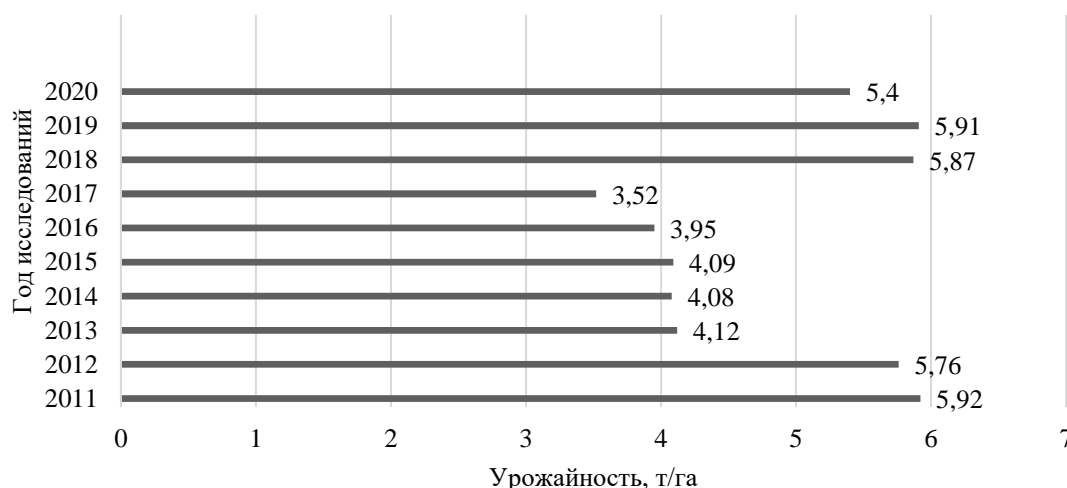


Рисунок 1 – Средняя урожайность по опыту

Различные по тепло- и влагообеспеченности погодные условия в период вегетации оказались основным лимитирующим урожайность фактором, что позволило оценить реакцию генотипа на изменяющиеся факторы среды.

Варьирование ( $C_v$ ) урожайности по сортам находилось в пределах 16,04–35,82 % (таблица 2).

**Таблица 2 – Урожайность изучаемых сортов озимой ржи, т/га**

Сорт	Год											$C_v$ , %
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	среднее	
Фалёнская 4 (St.)	5,67	5,48	4,23	4,29	4,30	4,21	3,75	5,80	5,42	3,78	4,69	17,13
Рушник	6,23	5,48	4,23	4,69	4,19	3,75	3,20	6,71	6,29	5,76	5,05	23,81
Флора	6,34	5,68	4,62	4,50	4,25	4,37	3,67	5,65	5,04	4,98	4,91	16,24
Графиня	6,40	6,29	4,82	4,47	3,98	3,77	3,22	6,10	6,18	4,79	5,00	23,34
Кипрез	5,18	5,25	3,70	5,11	4,14	4,14	3,64	5,91	5,03	5,37	4,75	16,40
Ниоба	6,40	6,39	4,09	2,68	4,37	3,40	3,53	5,77	6,72	6,42	4,98	30,53
Батист	5,64	5,96	4,34	4,66	4,45	4,82	4,20	6,07	6,21	6,28	5,26	16,04
Сармат	5,47	5,54	2,94	2,23	3,03	3,14	2,94	4,97	6,38	5,78	4,24	35,82
Среднее	5,92	5,76	4,12	4,08	4,09	3,95	3,52	5,87	5,91	5,40	4,86	-
НСР <sub>05</sub>	0,48	0,47	0,45	0,46	0,53	0,53	0,43	0,40	0,49	0,81	-	-
Индекс условий среды, I <sub>j</sub>	1,07	0,91	-0,74	-0,77	-0,76	-0,90	-1,33	1,02	1,06	0,55	-	-

Низкий коэффициент вариации урожайности по годам ( $C_v$ ) выявлен у сортов Батист (16,04 %), Флора (16,24 %) и Кипрез (16,40 %). Высокая вариабельность урожайности отмечена у сортов Сармат (35,82 %) и Ниоба (30,53 %). Самый высокий сбор зерна в среднем за годы изучения отмечен у сортов Батист (5,26 т/га) и Рушник (5,05 т/га).

Неустойчивость гидротермического режима в период активного роста и развития растений вносит существенный вклад фактора среды в общую дисперсию урожайности [10]. На основе двухфакторного дисперсионного анализа установлено достоверное влияние факторов А «год» и В «сорт» и их взаимодействия А × В на урожайность озимой ржи на 5 % уровне значимости ( $F_{\text{факт.}} > F_{05}$ ) (таблица 3).

**Таблица 3 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов озимой ржи по показателю «урожайность»**

Источник варьирования	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F		Доля влияния факторов, %
				$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	
Общая	296,4	239	-	-	-	-
Варианты	282,1	79	-	-	-	-
Год (А)	184,4	9	20,5	228,40*	2,71	62,2
Сорт (В)	26,1	7	3,7	3,29*	3,23	8,8
Взаимодействие (А × В)	71,6	63	1,1	12,67*	1,39	24,2
Остаток (ошибка)	14,2	158	0,09	-	-	-

Большее влияние на изменчивость урожайности оказал фактор «год» – 62,2 %, что говорит о преобладающей доле средовых эффектов. Доля вклада генотипа в формировании урожайности озимой ржи составила – 8,8 %. Взаимодействие факторов (А × В) составляет 24,2 %, что свидетельствует о возможности повышения урожайности благодаря использованию адаптивных сортов озимой ржи.

Коэффициент регрессии ( $b_i$ ) позволяет выявить силу реакции генотипа на изменения условий вегетации. В исследовании выявлена значительная вариация коэффициента регрессии урожайности сортов. Высокой пластичностью характеризовались сорта, превысившие стандарт Фалёнская 4 по средней урожайности: на 0,36 т/га – Рушник ( $b_i = 1,17$ ), на 0,31 т/га – Графиня ( $b_i = 1,11$ ) и на

0,29 т/га – Ниоба ( $b_i = 1,43$ ). Данные генотипы представляют интерес для селекции, но только в конкретных, сугубо специфических условиях [11], так как они требуют высокий уровень агротехники. У сортов Флора и Батист выявлена слабая реакция на изменения условий вегетации ( $b_i = 0,73$  и  $0,80$  соответственно), при урожайности, превышающей стандарт на  $0,22$  и  $0,57$  т/га (таблица 4).

**Таблица 4 – Показатели адаптивного потенциала урожайности сортов озимой ржи (2011–2020 гг.)**

Сорт	$b_i$	$OAC_i$	$CAC_i$	$Sg_i, \%$	$CCG_i, \%$	$K_{gi}$
Фалёнская 4 (St.)	0,66	-0,17	0,78	17	2,93	0,66
Рушник	1,17	0,19	1,19	24	2,37	1,53
Флора	0,73	0,05	0,78	16	3,15	0,65
Графиня	1,11	0,14	1,16	23	2,39	1,45
Кипрез	0,66	-0,11	0,75	16	3,06	0,60
Ниоба	1,43	0,12	1,51	30	1,58	2,45
Батист	0,80	0,40	0,83	16	3,39	0,74
Сармат	0,74	-0,62	1,51	36	0,84	2,45

**Примечания:**  $b_i$  – коэффициент регрессии;  $OAC_i$  – общая адаптивная способность;  $CAC_i$  – специфическая адаптивная способность;  $Sg_i$  – относительная стабильность сорта;  $CCG_i$  – селекционная ценность генотипа;  $K_{gi}$  – коэффициент компенсации;  $t$ -критерий для  $b_i$  значим на 5%-ном уровне.

Одним из показателей оценки сортов является их общая адаптивная способность ( $OAC_i$ ), под которой понимают способность генотипа сохранять свойственное ему фенотипическое выражение признака в различных условиях среды. По результатам исследований конкурсного сортоиспытания озимой ржи положительные значения данного показателя отмечены у пяти сортов (Рушник, Флора, Графиня, Ниоба, Батист), наиболее высокая общая адаптивная способность выявлена у сорта Батист ( $OAC_i = 0,40$ ).

Кильчевский А. В. и Хотылева Л. В. в качестве показателей экологической стабильности предложили использовать специфическую адаптивную способность ( $CAC_i$ ), относительную стабильность сорта ( $Sg_i$ ), коэффициент компенсации ( $K_{gi}$ ). Среди изученного набора сортов озимой ржи максимальная стабильность признака «урожайность» отмечена у сортов: Кипрез ( $CAC_i = 0,75$ ;  $Sg_i = 16 \%$ ;  $K_{gi} = 0,60$ ), Флора ( $CAC_i = 0,78$ ;  $Sg_i = 16 \%$ ;  $K_{gi} = 0,65$ ), Батист ( $CAC_i = 0,83$ ;  $Sg_i = 16 \%$ ;  $K_{gi} = 0,74$ ). Высокая стабильность выявлена также у стандарта Фалёнская 4 ( $CAC_i = 0,78$ ;  $Sg_i = 17 \%$ ;  $K_{gi} = 0,66$ ).

Селекционная ценность генотипа ( $CCG_i$ ) – показатель, который связывает величину урожайности изучаемого сорта и величины его адаптивности. Высокие значения селекционной ценности выявлены у сортов: Батист ( $CCG_i = 3,39$ ), Флора ( $CCG_i = 3,15$ ), Кипрез ( $CCG_i = 3,06$ ), которые отличаются высокими значениями экологической стабильности.

Корреляционный анализ показал достоверную сопряженность урожайности с общей адаптивной способностью (таблица 5).

По показателям адаптивности выявлена тесная корреляция между показателями  $CAC_i$  и  $Sg_i$  ( $r = 0,97$ ),  $CAC_i$  и  $K_{gi}$  ( $r = 1,00$ ),  $Sg_i$  и  $K_{gi}$  ( $r = 0,97$ ). Достоверно высокая отрицательная корреляция выявлена между параметрами  $CCG_i$  и  $CAC_i$  ( $r = -0,94$ ),  $CCG_i$  и  $Sg_i$  ( $r = -0,99$ ),  $CCG_i$  и  $K_{gi}$  ( $r = -0,95$ ).

Таблица 5 – Коэффициенты парных корреляций между урожайностью и показателями адаптивности и стабильности

Показатель	Урожайность	OAC <sub>i</sub>	CAC <sub>i</sub>	Sg <sub>i</sub>	СЦГ <sub>i</sub>	K <sub>gi</sub>	b <sub>i</sub>
Урожайность	1,00						
OAC <sub>i</sub>	1,00*	1,00					
CAC <sub>i</sub>	-0,30	-0,30	1,00				
Sg <sub>i</sub>	-0,52	-0,52	0,97*	1,00			
СЦГ <sub>i</sub>	0,60	0,60	-0,94*	-0,99*	1,00		
K <sub>gi</sub>	-0,34	-0,34	1,00*	0,97*	-0,95*	1,00	
b <sub>i</sub>	0,43	0,43	0,67	0,46	-0,41	0,63	1,00

Примечание. \* значимо на уровне  $p = 0,01$ .

### Выводы

Наиболее высокая урожайность за годы исследований отмечена у сорта Батист (5,26 т/га). Выявлена высокая зависимость формирования урожайности озимой ржи от влияния факторов условий года – 62,2 %, а также отмечен высокий вклад взаимодействия факторов «генотип – среда» – 24,2 %. Выделены сорта интенсивного типа, с высокой урожайностью, но сильной реакцией на изменения условий возделывания: Рушник (5,05 т/га;  $b_i = 1,17$ ), Графиня (5,0 т/га;  $b_i = 1,17$ ), Ниоба (4,98 т/га;  $b_i = 1,17$ ). У сортов Флора и Батист выявлена низкая реакция на изменение условий вегетации ( $b_i = 0,73$ ;  $0,80$  соответственно) и стабильно высокая урожайность (4,91 и 5,26 т/га).

Высокая общая адаптивная способность выявлена у сорта Батист (OAC<sub>i</sub> = 0,40). Проведенный анализ позволил выделить сорта с оптимальным сочетанием показателей экологической адаптивности по признаку «урожайность»: Флора (CAC<sub>i</sub> = 0,78; Sg<sub>i</sub> = 16 %; K<sub>gi</sub> = 0,65), Батист (CAC<sub>i</sub> = 0,83; Sg<sub>i</sub> = 16 %; K<sub>gi</sub> = 0,74). По параметру селекционная ценность генотипа выделены сорта Батист (СЦГ<sub>i</sub> = 3,39), Флора (СЦГ<sub>i</sub> = 3,15), Кипрез (СЦГ<sub>i</sub> = 3,06).

Выявлена высокая корреляция между показателями адаптивности: между CAC<sub>i</sub> и Sg<sub>i</sub> ( $r = 0,97$ ), CAC<sub>i</sub> и K<sub>gi</sub> ( $r = 1,00$ ), Sg<sub>i</sub> и K<sub>gi</sub> ( $r = 0,97$ ), СЦГ<sub>i</sub> и CAC<sub>i</sub> ( $r = -0,94$ ), СЦГ<sub>i</sub> и Sg<sub>i</sub> ( $r = -0,99$ ), СЦГ<sub>i</sub> и K<sub>gi</sub> ( $r = -0,95$ ).

Высокий потенциал адаптивности отмечен у сорта Батист, который способен формировать высокую урожайность в различных погодных условиях.

### Литература

1. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Шамова М. Г., Парфенова Е. С., Набатова Н. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Шляхтина Е. А. Возделывание озимой ржи в условиях северного земледелия. Научно-практические рекомендации. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 2021. 120 с.
2. Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Mehraban A., Hossein-Pour T., Koohkan E., Ghasemi S., Moradkhani H., Siddique K. H. M. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes // *Euphytica*. 2019. No. 215(4). Article No. 63. DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5.
3. Тетяников Н. В., Боме Н. А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зауралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182(3). С. 63–73. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73.
4. Kendal E. Effects of ecological factors on spring barley genotypes // In book: *Hordeum vulgare: production, cultivation and uses*. Ed. by Eslem N. NY: Nova Science Publishers, 2021. P. 87–114.
5. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 31–37.
6. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Оценка экологической пластичности селекционных линий яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Кузнецкой котловины // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3. С. 116–120. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.075.
7. Гудзенко В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(1). С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
8. Мальчиков П. Н., Розова М. А., Моргунов А. И., Мясникова М. Г., Зеленский Ю. И. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) из России и Казахстана // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(8). С. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436.

9. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов дифференцирующей способности среды. Сообщение 1. Обоснование метода // Генетика. 1985. № 21(9). С. 1481–1490.

10. Dogan Y., Kendal E., Oral R. Identifying of relationship between traits and grain yield in spring barley by GGE biplot analysis. Agriculture and Forestry. 2016. No. 62(4) P. 239–252. DOI: 10.17707/AgricultForest.62.4.25.

11. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Кузьмич М. А., Ермаков С. А., Семенова Т. В., Точилин В. Н., Цыганкова Н. В., Кузьмич Л. С., Гончаренко М. С., Крахмалева О. А., Яшина Н. А., Кондратьева О. П. Оценка экологической устойчивости, стабильности и пластичности сортов озимой ржи по признакам качества зерна // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4 С. 3–9. DOI:10.31857/S2500262720040018.

## References

1. Utkina E. I., Kedrova L. I., Shamova M. G., Parfenova E. S., Nabatova N. A., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Shlyakhtina E. A. Winter rye cultivation under conditions of northern agriculture. Scientific and practical recommendations. Kirov: FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”, 2021. 120 p.

2. Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Mehraban A., Hossein-Pour T., Koohkan. E., Ghasemi S., Moradkhani H., Siddique K. H. M. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes // Euphytica. 2019. No. 215(4). Article No. 63. DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5.

3. Tetyannikov N. V., Bohme N. A. Analysis of the genotype × environment interactions and assessment of the adaptability potential in barley under the conditions of the Northern Trans-Urals // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021. No. 182(3). P. 63–73. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73.

4. Kendal E. Effects of ecological factors on spring barley genotypes // In book: *Hordeum vulgare: production, cultivation and uses*. Ed. by Eslem N. NY: Nova Science Publishers, 2021. P. 87–114.

5. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding // Grain Economy of Russia. 2016. No. 3. P. 31–37.

6. Pakul V. N., Plisko L. G. Assessment of ecological plasticity of selection lines of spring-sown soft field in the conditions of the forest-steppe of the Kuznetsk depression // *Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal (International Research Journal)*. 2016. No. 3. P. 116–120. DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.075.

7. Gudzenko V. N. Statistical and graphical (GGE biplot) evaluation of the adaptive ability and stability of winter barley breeding lines // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019. No. 23(1). P. 110–118. DOI: 10.18699/VJ18.469.

8. Malchikov P. N., Rozova M. A., Morgunov A. I., Myasnikova M. G., Zelensky Yu. I. Yield performance and stability of modern breeding stock of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Russia and Kazakhstan // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018. No. 22(8). P. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436.

9. Kilchevskiy A. V., Khotyleva L. V. Method of evaluation of adaptive ability and stability of genotypes, differentiating ability of environment. Report 1. Validation of the method // *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1985. No. 21(9). P. 1481–1490.

10. Dogan Y., Kendal E., Oral R. Identifying of relationship between traits and grain yield in spring barley by GGE biplot analysis // *Agriculture and Forestry*. 2016. No. 62(4). P. 239–252. DOI: 10.17707/AgricultForest.62.4.25.

11. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Kuzmich M. A., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N., Tsygankova N. V., Kuzmich L. S., Goncharenko M. S., Krakhmaleva O. A., Yashina N. A., Kondratyeva O. P. Assessment of ecological variability, stability and plasticity of varieties of winter rye on traits of quality of grain // *Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka*. 2020. No. 4. P. 3–9. DOI: 10.31857/S2500262720040018.

UDC 633.14:631.527:631.559

Shlyakhtina E. A.

## ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER RYE VARIETIES UNDER CONDITIONS OF KIROV REGION

**Summary.** *The main task of winter rye breeders is to create stable high-yielding varieties adaptive to different soil-and-climatic conditions. The purpose of the research was to evaluate the ecological adaptability of seven winter rye varieties created in the Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky ('Rushnik', 'Flora', 'Grafinya', 'Kiprez', 'Nioba', 'Batist', 'Sarmat'). Weather conditions during the years of research varied greatly. The studies were carried out in 2011–2020 on the*



experimental fields of the Falenskaya Breeding Station – Branch of “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky” (Kirov region). On average, over the years of research, promising variety ‘Batist’ was the most high-yielding (5.26 t/ha). The dependence of winter rye yield formation on the influence of environmental factors was 62.2 %. A high contribution of “genotype-environment” interaction was also noted; it amounted to 24.2 %. Varieties of intensive type responsive to changes in environmental conditions were identified: ‘Rushnik’ ( $b_i = 1.17$ ), ‘Grafinya’ ( $b_i = 1.11$ ), ‘Nioba’ ( $b_i = 1.43$ ). Varieties ‘Flora’ and ‘Batist’ showed a weak reaction to changes in environmental conditions ( $b_i = 0.73$ ; 0.80, respectively), as well as both stable and high yields (4.91 t/ha and 5.26 t/ha, respectively). High general adaptive capacity (GAC) was typical for variety ‘Batist’ (0.40). The analysis of indicators of ecological adaptability allowed us to identify varieties with optimal combination of productivity and adaptability: ‘Flora’ (specific adaptive capacity ( $SAC_i$ ) = 0.78;  $Sg_i = 16$  %;  $K_{gi} = 0.65$ ), ‘Batist’ ( $SAC_i = 0.83$ ;  $Sg_i = 16$  %;  $K_{gi} = 0.74$ ). According to the “breeding value” of genotype (BVG), the following varieties were distinguished: ‘Batist’ ( $BVG_i = 3.39$ ), ‘Flora’ ( $BVG_i = 3.15$ ), ‘Kiprez’ ( $BVG_i = 3.06$ ). A significantly high correlation between the indicators of adaptability was established and  $CAC_i$  and  $Sg_i$  ( $r = 0.97$ ),  $SAC_i$  and  $K_{gi}$  ( $r = 1.00$ ),  $Sg_i$  and  $K_{gi}$  ( $r = 0.97$ ),  $BVG_i$  and  $SAC_i$  ( $r = -0.94$ ),  $BVG_i$  and  $Sg_i$  ( $r = -0.99$ ),  $BVG_i$  and  $K_{gi}$  ( $r = -0.95$ ). According to a comprehensive assessment, the most adaptive variety is ‘Batist’.

**Keywords:** *Secale cereale* L., variety, yield, adaptive capacity, stability, breeding value.

Шляхтина Елена Анатольевна, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, Фалёнская селекционная станция-филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фаленки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Shlyakhtina Elena Anatolyevna, researcher, Laboratory of winter rye breeding and primary seed production, Falenskaya Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazev str., Falenki vill., Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.12.2021.

Дата принятия к печати – 10.02.2022.





Свободная цена