



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

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

научный журнал

ISSN 2542-0720



№ 4 (28)
2021



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

ТАВРИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
DOI:10.33952/2542-0720

TAURIDA HERALD
OF THE AGRARIAN SCIENCES

№4 (28)

DOI:10.33952/2542-0720-2021-4-28

2021

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, Simferopol, Kievskaya Str., 150.

E-mail: priemnaya@niishk.ru

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

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

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

Тематические направления журнала:

Биологические науки 03.00.00:

03.02.00 – Общая биология

03.02.03 – Микробиология

03.02.14 – Биологические ресурсы

Сельскохозяйственные науки 06.00.00:

06.01.00 – Агрономия

06.01.01 – Общее земледелие

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

06.01.05 – Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

Технические науки 05.00.00:

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

05.20.01 – Технология и средства механизации сельского хозяйства

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

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

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

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

Russian Science
Citation Index



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



Crossref



AGRIS



ULRICH'S WEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Google
Академия



АНТИПЛАГИАТ

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

ФГБУ «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 № 11ДА/31.
Тираж 500 экз.

Подписано к печати 13.12.2021.

Отпечатано с оригинал-макета
в типографии ИП Бражникова Д.А.
295053, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Оленчука, 63,
тел. +7 978 71 72 902,
e-mail: braznikov@mail.ru

Дата выхода: 14.12.2021

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

© ФГБУН «НИИСХ Крыма», 2021.

© Авторы статей, 2021.

© Авторы иллюстраций, 2021.

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., ФГБНУ «НБС-ННЦ»; Бабицкий Л.Ф., д.т.н., профессор АБиП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Баденко В.Л., д.т.н., профессор СПбПУ; Барталев С.А., д.т.н., проф., ИКИ РАН; Бастаубаева Ш.О., к.с.-х.н. Казахский НИИ земледелия и растениеводства, Боровой Е.П., д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ»; Гербер Ю.Б., д.т.н., профессор АБиП ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Егорова Н.А., д.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Завалий А.А., д.т.н., профессор ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Клименко Н.П., к.т.н., ФГБОУ ВО «КГМТУ»; Козырев А.Х., д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Кудзаев А.Б., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Ларина Г.Е., д.б.н., проф., ФГБНУ «ВНИИФ»; Лупян Е.А., д.т.н., ФГБНУ «ИКИ РАН»; Мельничук Т.Н., д.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Митрофанова И.В., д.б.н., ФГБНУ «НБС-ННЦ», профессор ФГБОУ ВПО «Уральский ГАУ»; Мишнёв А.В., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Моисеев К.Г., к.т.н., ФГБНУ АФИ; Надыкта В.Д., д.т.н., профессор, академик РАН, вице-президент ВГРС МОББ, чл.-корр. Академии технологических наук, директор ФГБНУ ВНИИБЗР; Невкрытая Н.В., к.б.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Немтинов В.И., д.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Остапчук П.С., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Паштецкий В.С., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Плугатарь Ю.В., д.с.-х.н., директор ФГБНУ «НБС-ННЦ»; Просяникова И.Б., к.б.н., Таврическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»; Серая Л.Г., к.б.н., ФГБНУ «ВНИИФ»; Сидякин А.И. к.б.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского»; Скипор О.Б., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Song J., Ph.D (candidate), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Soyong K., Dr.Ph., president of Association of Agricultural Technology in Southeast Asia, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; Соколенко О.Н., к.т.н., ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина»; Тарасенко В.С., д.г.-м.н., профессор, ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Терлеев В.В., д.с.-х.н., профессор СПбПУ; Тимашёва Л.А., к.с.-х.н., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Тихонович И.А., д.б.н., академик РАН, директор ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии»; Ткаченко О.Б., д.б.н., ФГБНУ «ГБС РАН»; Топунов А.Ф., д.б.н., профессор ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; Турина Е.Л., к.с.-х.н., ФГБНУ «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., ФГБНУ «НИИСХ Крыма»; Чеходариди Ф.Н., д.в.н., профессор ФГБОУ ВО «Горский ГАУ»; Шейн Е.В., д.б.н., профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»; Шагапсов С.Х., д.б.н., профессор «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова».

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

СОДЕРЖАНИЕ

Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Вологжанина Е. Н., Журавлева Г. П. ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ И ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ПРЕПАРАТОМ «КАС 28» НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ОВСА	9
Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ВИДОВ РАСТЕНИЙ, ПОРАЖАЕМЫХ ФИТОПЛАЗМОЙ ГРУППЫ X-БОЛЕЗНИ (16Sr-III) В РОССИИ	22
Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Михайлов В. В. ПЛОДОРОДИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ	40
Галушко Н. А., Соколенко Н. И. ВАЖНЕЙШИЕ КРИТЕРИИ ОТБОРА НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	50
Гулянов Ю. А. ИЗМЕНЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ	58
Дунаева Е. А., Попович В. В., Вечерков В. В. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ	69
Елисеева Н. А., Костанчук Ю. Н. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МЕЖФАЗНЫХ ПЕРИОДОВ ДЫНИ	82
Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Безуглая Т. С., Дубинина О. А. ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ЯХОНТ И ЯНТАРИНА	92
Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В КОНКУРСНОМ СОРТОИСПЫТАНИИ ПО ОСНОВНЫМ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫМ ПРИЗНАКАМ	101
Лукьянов В. А., Горбунова С. Ю. ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛИ <i>CHLORELLA SOROKINIANA</i> ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА КУРИНОМ ПОМЁТЕ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ	110
Некрасов Е. И., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Романюкина И. В., Кирин А. В., Кравченко Н. С. УРОЖАЙНОСТЬ И БЕЛКОВО-КЛЕЙКОВИННЫЙ КОМПЛЕКС СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	119
Осипова Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А. СОРТОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЯЧМЕНЯ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ В КРИТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ РОСТА	129
Пехова О. А., Тимашева Л. А., Данилова И. Л., Белова И. В. ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ <i>HYSSOPUS OFFICINALIS</i> L., ВЫРАЩИВАЕМЫХ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА	138

Сидоров Н. М., Гырнец Е. А., Астахов М. М., Саенко К. Ю., Асатурова А. М.,
Диденко А. О.

ОЦЕНКА ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ 149
ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л.

ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИЕ МИКРООРГАНИЗМЫ: 1. БИОРАЗНООБРАЗИЕ,
ВЛИЯНИЕ НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И ИХ
ПРОДУКТИВНОСТЬ 159

CONTENTS

Batalova G. A., Lisitsyn E. M., Vologzhanina E. N., Zhuravleva G. P. EFFECT OF TIMING AND DOSAGE OF “KAS 28” APPLICATION ON OAT PLANTS DEVELOPMENT	9
Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastalyeva T. B. ASSESSMENT OF DIVERSITY OF PLANT SPECIES AFFECTED BY PHYTOPLASMA OF X-DISEASE (16SR-III) GROUP IN RUSSIA	22
Boiko V. S., Timokhin A. Yu., Mikhailov V. V. FERTILITY OF IRRIGATED LANDS IN THE SOUTH FOREST-STEPPE OF THE OMSK REGION	40
Galushko N. A., Sokolenko N. I. THE MOST IMPORTANT SELECTION CRITERIA IN WINTER WHEAT BREEDING FOR GRAIN QUALITY	50
Gulyanov Yu. A. CHANGES IN REGIONAL CLIMATIC CONDITIONS AND PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT IN THE STEPPE ZONE OF EUROPEAN RUSSIA	58
Dunaieva Ie. A., Popovich V. V., Vecherkov V. V. METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE THE CONDITION OF RURAL AREAS	69
Eliseeva N. A., Kostanchuk Yu. N. EFFECT OF TEMPERATURE FACTOR ON THE DURATION OF INTERPHASE PERIODS OF MELON PLANTS	82
Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Bezuglaya T. S., Dubinina O. A. ECONOMIC AND BIOLOGICAL TRAITS OF THE NEW WINTER DURUM WHEAT VARIETIES ‘YAKHONT’ AND ‘YANTARINA’	92
Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. EVALUATION OF PROMISING BREEDING SAMPLES OF MEADOW CLOVER IN COMPETITIVE VARIETY TESTING ACCORDING TO THE MAIN ECONOMICALLY USEFUL CHARACTERISTICS	101
Lukyanov V. A., Gorbunova S. Yu. PRODUCTIVITY OF MICROALGAE <i>CHLORELLA SOROKINIANA</i> WHEN GROWING ON CHICKEN MANURE UNDER DIFFERENT LIGHTING CONDITIONS	110
Nekrasov E. I., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Romanyukina I. V., Kirin A. V., Kravchenko N. S. PRODUCTIVITY AND PROTEIN-GLUTEN COMPLEX OF DIFFERENT VARIETIES OF WINTER BREAD WHEAT	119
Osipova L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A. VARIETY-SPECIFIC FEATURES OF BARLEY AT DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS	129
Pekhova O. A., Timasheva L. A., Danilova I. L., Belova I. V. DYNAMICS OF ACCUMULATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN <i>HYSSOPUS OFFICINALIS</i> L. PLANTS GROWN IN THE FOOTHILL ZONE OF CRIMEA	138

Sidorov N. M., Gyrnets E. A., Astakhov M. M., Saenko K. Yu., Asaturova A. M.,
Didenko A. O.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF FUNGICIDAL ACTIVITY OF
PREPARATIONS FOR PRESOWING TREATMENT OF WINTER WHEAT 149

Chaikovskaya L. A., Ovsienko O. L.

PHOSPHATE-MOBILIZING MICROORGANISMS: 1. BIODIVERSITY,
INFLUENCE ON PLANTS MINERAL NUTRITION AND PRODUCTIVITY 159

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21

УДК 633.13:631.84:547.979.7

Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Вологжанина Е. Н., Журавлева Г. П.

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ И ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ПРЕПАРАТОМ «КАС 28» НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ОВСА

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

Реферат. Для определения оптимальных вариантов применения препарата «КАС 28» при выращивании овса пленчатого сорта Кировский 2 в 2019–2020 гг. исследовали следующие варианты: 1 – контроль без обработки препаратом; 2 – обработка посевов «КАС 28» в рекомендованной дозе (35 л/га) в фазе кущения; 3 – обработка посевов «КАС 28» – 60 % рекомендованной дозы (21 л/га) в фазе кущения; 4 – обработка посевов «КАС 28» в рекомендованной дозе в начале фазы выхода в трубку; 5 – обработка посевов «КАС 28» – 60 % рекомендованной дозы в начале фазы выхода в трубку. Средняя за годы исследований урожайность изменялась от 5,52 т/га в варианте 3 (на уровне контроля) до 6,59 т/га в варианте 5 (превышение контроля на 16,0 %). В вариантах 2 и 4 прибавки к контролю составили соответственно 0,49 и 0,50 т/га (8,8 %). Обработка посевов сниженной дозой удобрения в фазе кущения способствовала уменьшению урожайности на 0,65 т/га (10,6 %), а в фазе начала выхода в трубку, наоборот, повышала ее на 0,41 т/га (6,6 %). «КАС 28» привел к повышению длины метелки на 3,5–5,3 % от контроля (16,9 см), количества зерен в метелке – на 5,3–12,0% (в контроле – 48 шт.), массы зерна с метелки – на 5,6–23,4% (контроль – 1,78 г). Уменьшенная доза удобрения способствовала меньшему эффекту. Однако снижение дозы удобрения привело к статистически значимому повышению массы 1000 зерен (на 0,55–1,61 г или 1,4–4,1 %). Для повышения урожайности зерна овса сорта Кировский 2 и снижения антропогенной нагрузки на агроэкосистему предлагается проводить внекорневую подкормку в фазе выхода в трубку препаратом «КАС 28» в дозе 21 л/га.

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* L.), азотное питание, внекорневая подкормка, каротиноиды, натура, пленчатость, чистая продуктивность фотосинтеза, хлорофилл.

Для цитирования: Баталова Г. А., Лисицын Е. М., Вологжанина Е. Н., Журавлева Г. П. Влияние дозы и времени обработки препаратом «КАС 28» на развитие растений овса // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 9–21. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21.

For citation: Batalova G. A., Lisitsyn E. M., Vologzhanina E. N., Zhuravleva G. P. Effect of timing and dosage of “KAS 28” application on oat plants development // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 9–21. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-9-21.

Введение

Сельское хозяйство и производство продуктов питания взаимосвязаны, развитие научных исследований в данном направлении актуально во всем мире и направлено на обеспечение повышения доступности продовольствия и качества питания населения. Одновременно с ростом интереса населения к здоровому образу жизни и качеству питания, повысилась заинтересованность сельхозпроизводителей в получении стабильно высокой урожайности зерна высокого качества для производства продуктов питания и кормов.

Овес (*Avena sativa* L.) – культура многоцелевого использования, продукты из овса способствуют укреплению здоровья человека, служат профилактическим средством при ряде заболеваний [1, 2]. С учетом сбалансированного по

аминокислотному составу белка и высокого содержания масла в зерне овес имеет преимущества перед пшеницей и ячменем для использования на корм скоту и птице [3]. Его широко возделывают в мире и практически повсеместно на территории России. Российский рынок овса характеризуется некоторым сокращением посевных площадей и валовых сборов зерна в последние 10 лет. По данным сайта ab-centre.ru [4], посевная площадь под культурой в 2020 г. была наименьшей за последние 30 лет – 2 422 тыс. га, производство зерна снизилось относительно уровня 2019 г. на 6,6 % и составило 4 132 тыс. т при урожайности 17,7 ц/га или на 2,7 % меньше предшествующего года. В целом наблюдается сокращение производства овса в России: за последние пять лет на 8,9 %, относительно 2001 г. – на 46,5 %, 1990 г. – на 66,5 %. В тоже время в среднем за последние пять лет отмечен рост урожайности культуры на 10,6 %, за 10 лет – на 22,9 %, за 20 лет – на 19,6 %. Мировое производство зерна овса в настоящее время составляет около 23 млн т. Основными его производителями, наряду с Россией, являются Канада (3 018,1 тыс. т), Польша (1 358,1 тыс. т), Австралия (1 299,7 тыс. т) и Финляндия (1 037,4 тыс. т) [5].

Контрастность почвенно-климатических условий регионов выращивания овса предполагает использование технологий (элементов технологий) выращивания, обеспечивающих адаптацию сорта и культуры к региональным экологическим факторам, в том числе путем применения различных форм удобрений, стимуляторов роста, других средств интенсификации растениеводства. В период вегетации зерновых культур актуально применение внекорневых обработок жидкими минеральными удобрениями, такими как «КАС 28», который представляет собой жидкий раствор карбамида и аммиачной селитры. Это единственное азотное удобрение, содержащее нитратный, аммонийный, амидный азот и не содержащее свободного аммиака, что позволяет существенно снизить непроизводительные потери азота [6]. Физиологическое действие препарата на растения заключается в активации роста, когда надземная часть растения интенсивно развивается, закладываются цветочные почки – залог будущего урожая. Основными элементами технологии выращивания сельскохозяйственных культур являются правильно подобранные дозы и периоды внесения азотных удобрений [7]. Азотные удобрения – сам дорогостоящий элемент технологии ввиду высокой потребности растений в них и их высокой стоимости [8], поэтому оптимизация азотного питания очень важна с точки зрения снижения себестоимости продукции и повышения рентабельности растениеводства [9]. Известно, что растения овса более всего нуждаются в азоте в период между началом кущения и началом выхода в трубку и, соответственно, внекорневые подкормки в этот период наиболее эффективны [10, 11]. Данные, полученные в работах зарубежных ученых [12, 13] показывают, что в благоприятный по метеорологическим условиям год внекорневые подкормки эффективнее применять на 40–45 день после всходов, а в неблагоприятный год – на 30–35 день после всходов. Таким образом, правильное использование азотных удобрений помогает проявить урожайный потенциал культуры [14]. Так, при управлении азотным питанием в режиме реального времени (real-time N management = RTNM), азотные удобрения используются в определенной дозе только когда содержание азота в листьях снижается ниже определенного порога [15].

Цель исследований – определить оптимальные варианты применения препарата «КАС 28» для получения высокой урожайности и качества зерна овса пленчатого.

Материал и методы исследований

Исследования поведены в 2019–2020 гг. на опытном поле ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (Кировская область Российской Федерации) на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, залегающей на элювии пермских глин, со следующими

показателями качества: содержание гумуса – 2,43–2,51 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и калия – 334–339 и 200–245 мг/кг почвы соответственно (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91), рН – 5,7–6,0 (ГОСТ 26212-91). Опыт заложен в соответствии с методиками государственного сортоиспытания [16] и полевого опыта [17]. Изучено влияние жидкого минерального удобрения «КАС 28» на формирование продуктивности растений и качество зерна перспективной линии пленчатого овса (*Avena sativa* L.) 325h12, переданной в 2021 г. на государственное сортоиспытание как сорт Кировский 2. Удобрение «КАС 28» представляет собой карбамидно-аммиачную смесь с серой, предназначенную для обработки вегетирующих растений по листу, а также заделки в почву; производитель – компания «Спецхимагро» (г. Кирово-Чепецк, Кировская обл.). В удобрении «КАС 28» массовая доля азота при натуральной влажности составляет 28 %, из них: аммонийного – $4,8 \pm 0,2$ %, нитратного – $12,8 \pm 0,4$ %, амидного – $10,6 \pm 0,3$ %, рН = $8,0 \pm 1,0$ % [18].

Схема исследований включала следующие варианты применения «КАС 28»:

- 1 – контроль, без обработки препаратом;
- 2 – обработка посевов «КАС 28» в рекомендуемой дозе (35 л/га в баковой смеси 200 л) в фазе кущения;
- 3 – обработка посевов «КАС 28» – 60 % от рекомендованной дозы в фазе кущения;
- 4 – обработка посевов «КАС 28» в рекомендуемой дозе в начале фазы выхода в трубку;
- 5 – обработка посевов «КАС 28» – 60 % от рекомендованной дозы в начале фазы выхода в трубку.

Отбор проб для учета площади листьев и расчета чистой продуктивности фотосинтеза, количественного содержания пигментов в листьях проводили в фазы: начало и конец выхода в трубку, выметывание, начало формирования зерна. Оценка содержания пигментов (хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды) проведена в ацетоновых вытяжках из флаговых листьев с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Japan); выделение пигментов и расчет их содержания – по методике [19]; определение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) – по [20]. Посев делянок осуществлен порционной сеялкой ССК-6-10, уборка комбайном «Wintersteiger».

Для статистической обработки результатов исследований использовали пакет селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS, версия 2.07 и пакет прикладных программ Microsoft Excel из стандартного набора Microsoft Office 2013. В таблицах приведены средние данные из четырех полевых повторностей (для показателей продуктивности) или из трех аналитических повторностей (для физиологических показателей) с указанием ошибки среднего.

Результаты и их обсуждение

Известно, что величина урожайности в значительной мере подвержена воздействию факторов окружающей среды [21, 22]. В 2019 г. сумма эффективных температур на конец июля составила 958,1 °С или на 57,9 °С ниже показателя 2020 г. Температура в течение месяца была в пределах 16–22 °С и в среднем за месяц оказалась на 1,5–2,5 °С ниже нормы; количество осадков в июне было выше среднееголетнего значения (109 %), но в июле – только 62 % от него. В то же время, хотя в период от посева до всходов наблюдали недостаточное увлажнение (ГТК = 0,40), но последующие благоприятные условия обеспечили формирование высокой урожайности: от 5,98 т/га в контроле до 6,93 т/га в варианте 5. При этом, как показывают данные статистической обработки, вариант № 3 значительно отличался от контрольной величины в сторону снижения показателя (на 10,3 %), а остальные варианты – в сторону увеличения (на 7,0–15,9 %). Снижение рекомендованной дозы

азотного удобрения в первый срок обработки снизил итоговую урожайность сорта Кировский 2 на 18,1 %, а во второй срок – напротив, повысил на 8,2 % (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайные характеристики овса пленчатого Кировский 2, 2019 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Характеристика метелки			Высота растения, см
		длина, см	число зерен, шт.	масса зерна, г	
1 – контроль	5,98 ± 0,08	17,8 ± 0,5	53,0 ± 3,6	2,26 ± 0,17	93,3 ± 2,3
2	6,56 ± 0,04*	17,3 ± 0,3	48,0 ± 2,3	2,11 ± 0,12	95,2 ± 1,1
3	5,37 ± 0,04*	18,5 ± 0,3	51,2 ± 3,9	2,41 ± 0,17	95,7 ± 0,7
4	6,40 ± 0,05*	18,2 ± 0,4	55,4 ± 1,4	2,51 ± 0,09	98,8 ± 0,6*
5	6,93 ± 0,03*	19,1 ± 0,6*	55,3 ± 2,2	2,31 ± 0,11	100,9 ± 0,8*

Примечание. * статистически значимое отличие от контроля при $p \leq 0,05$.

Урожайность зерна овса увеличивается с повышением доступности азота, который способствует изменению элементов продуктивности [23]. Таким образом, связь урожайности зерна с развитием этих элементов представляет собой стратегию оптимизации использования питательных веществ [24]. Урожайность зерна овса является результирующим набором различных факторов. Поэтому отдельные элементы и/или их комбинации могут увеличить или уменьшить конечную величину урожайности [25]. В нашем исследовании статистически значимые отличия от контроля выявлены только в варианте 4 по высоте растений (увеличилась на 5,9 %) и в варианте 5 по длине метелки и высоте растений (повышение соответственно на 7,3 и 8,1 %). Снижение рекомендованной дозы внесения азотного удобрения в первый срок обработки привело к статистически значимому повышению длины метелки (на 6,9 %) и массы зерна с метелки (на 14,2 %); во второй срок – только к повышению высоты растений (на 2,1 %). Полученные нами результаты несколько расходятся с литературными данными о том, что внекорневая обработка азотными удобрениями приводит к увеличению высоты растений [26, 27], однако эти данные получены на высоком фоне основного предпосевного внесения азота.

В 2020 г. условия периода «всходы – выметывание» по величине показателя гидротермического коэффициента (ГТК = 1,91) были благоприятны для формирования высокой урожайности овса. Однако на момент цветения и формирования зерна (первая – вторая декады июля) отмечали повышенный температурный фон (до 34 °С или на 3–8 °С выше нормы) при повышенном увлажнении (110 % от среднегодового значения), что вызвало сокращение продолжительности периода от выметывания до созревания, стерилизацию части цветков метелки растений овса, снижение ее продуктивности и, в целом, урожайности. Подкормка растений азотным удобрением значимо повысила урожайность овса сорта Кировский 2 по отношению к контролю: от 5,4 % в варианте 3 до 16,2 % в варианте 5 (таблица 2). Отмечены статистически значимые отличия по уровню урожайности между рекомендованной (100 %) и 60 % дозой удобрения, при этом снижение рекомендуемой дозы в первый срок привело к снижению урожайности (на 2,1 %), а во второй – наоборот, к увеличению (на 4,9 %).

Таблица 2 – Урожайные характеристики овса пленчатого Кировский 2, 2020 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Характеристика метелки			Высота растения, см
		длина, см	число зерен, шт.	масса зерна, г	
1 – контроль	5,37 ± 0,02	16,1 ± 0,3	42,8 ± 2,2	1,29 ± 0,07	84,0 ± 0,8
2	5,78 ± 0,03*	16,5 ± 0,3	52,9 ± 3,8*	1,87 ± 0,14*	89,8 ± 0,7*
3	5,66 ± 0,02*	16,6 ± 0,2	37,5 ± 2,2*	1,34 ± 0,09	83,1 ± 0,6
4	5,95 ± 0,01*	17,5 ± 0,4*	51,9 ± 3,1*	1,87 ± 0,12*	84,1 ± 0,7
5	6,24 ± 0,02*	16,5 ± 0,3	49,3 ± 3,4*	1,72 ± 0,12*	85,2 ± 1,0

Примечание. * статистически значимое отличие от контроля при $p \leq 0,05$.

Высота растений значительно отличалась от контроля только в варианте 2 (превышение контроля составило 6,9 %), длина метелки – только в варианте 4 (повышение на 8,7 %). Что касается морфологических отличий метелки, можно отметить статистически значимое увеличение числа и массы зерен в метелке в вариантах 2, 4 и 5 относительно контрольного варианта (число зерен увеличилось, соответственно, на 23,6; 21,3 и 15,2 %, масса – на 45,0; 45,0 и 33,3 %). В работе [28] указывается, что из всех параметров метелки наиболее чувствительным к изменению уровня азотного питания является признак «масса зерна с метелки», а другие [29] добавляют к нему еще и признак «число зерен в метелке». Снижение дозы применяемого удобрения в первый срок привело к снижению величин этих показателей метелки на 29,1 и 28,4 %. Снижение дозы удобрения во второй срок обработки значительно снизило длину метелки (на 5,7 %, приведя ее к показателям контрольного варианта), остальные параметры метелки между вариантами 4 и 5 не отличались.

Средняя за годы исследований урожайность сорта Кировский 2 изменялась от 5,52 т/га в варианте 3, до 6,58 т/га в варианте 5. При этом статистически значимое отличие от контрольного варианта (5,66 т/га) отмечено только в варианте 5. Хотя в целом признано, что повышение уровня азотного питания приводит к повышению урожайности овса и развитию элементов метелки [30], в работах бразильских авторов часто указывается, что внекорневые подкормки азотом не влияют на урожайность овса [31, 32], но это связано с высоким уровнем плодородия почвы. В нашем случае мы видим, что отсутствие различий с контрольным вариантом объясняется скорее условиями вегетации в разные годы, так как в каждый отдельный год исследований все варианты опыта статистически значимо отличались от контроля.

В абсолютном выражении вариант 2 (обработка рекомендованной производителем дозой удобрения в фазе кущения) имел наиболее продуктивную и по количеству, и по массе зерна метелку, а наибольший выход зерна из снопового образца ($K_{хоз.} = 56,6\%$) имел вариант 3 со сниженной дозой внесения удобрений. Однако эти отличия от контрольного варианта были статистически незначимыми, что объясняется значительным отличием данных по годам исследования – в 2019 г. по параметрам развития метелки отличия от контроля практически отсутствовали. В 2020 г. отмечено положительное влияние препарата «КАС 28» на формирование элементов структуры – высоты растения, длины и массы метелки, числа зерен и массы зерна с метелки (при $p \leq 0,05$).

В среднем за два года исследований среди элементов структуры продуктивности не выявлено признака, значимо повлиявшего на формирование урожайности, поскольку урожайность есть результат совокупности признаков продуктивности и плотности продуктивного стеблестоя. Наибольшее влияние на урожайность ($r = 0,65$) оказала масса 1000 зерен. Условия года выращивания значительно влияли на эффективность применяемых удобрений: если в 2019 г. только вариант 3 значительно превысил по величине этого показателя (масса 1000 зерен) контроль (на 0,9 %), а в остальных вариантах отмечено снижение величин этого показателя (на 1,1–7,8 %), то в 2020 г. только вариант 2 оказался на уровне контроля, остальные варианты опыта привели к повышению массы 1000 зерен (на 1,4–3,8 %). Снижение дозы применяемого удобрения в целом способствовало статистически значимому повышению массы 1000 зерен (на 1,4–4,1 %), за исключением второго срока обработки в 2019 г., где отмечено ее снижение (на 6,7 %) (таблица 3).

Натурная масса зерна в оба года исследований значительно увеличилась при использовании препарата «КАС 28» (от 1,5 до 5,2 %). Наиболее эффективным был вариант 4 – использование рекомендованной дозы во второй срок обработки (2,5 и 5,2 %).

Снижение дозы препарата в первый срок повысило натурную массу зерна в 2020 г. (на 2,4 %), а во второй срок в оба года привело к ее снижению (на 0,7 и 1,8 %).

Таблица 3 – Технологические качества зерна овса пленчатого

Вариант	Натура зерна, г/л		Пленчатость, %		Масса 1000 зерен, г	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
1 – контроль	610 ± 1	536 ± 0	22,1 ± 0,1	25,6 ± 0,1	43,6 ± 0,1	34,6 ± 0,1
2	621 ± 1*	546 ± 1*	21,6 ± 0,1*	25,1 ± 0,1*	42,9 ± 0,1*	34,5 ± 0,1
3	619 ± 1*	559 ± 1*	21,8 ± 0,0*	26,0 ± 0,1*	44,0 ± 0,1*	35,9 ± 0,1*
4	625 ± 1*	564 ± 0*	21,5 ± 0,1*	24,6 ± 0,1*	43,1 ± 0,1*	35,1 ± 0,1*
5	621 ± 1*	554 ± 4*	22,2 ± 0,1	24,7 ± 0,1*	40,2 ± 0,1*	35,6 ± 0,1*

Примечание. * статистически значимое отличие от контроля при $p \leq 0,05$.

Пленчатость зерна в целом снижалась от применения препарата (на 1,4–3,9 %) кроме варианта 3 в 2020 г. (повышение на 1,6 %) и варианта 5 в 2019 г. (на уровне контроля). Снижение дозы препарата приводило к увеличению пленчатости на 1–3 %, за исключение второго срока обработки в 2020 г., когда эффект не был статистически значимым.

В целом за два года исследований технологические показатели качества зерна нового сорта были высокие, характерные для ценного по этому признаку сорта. Зерно, как в контроле, так и в экспериментальных вариантах было крупное, имело высокие показатели натуры, массы 1000 зерен и низкую пленчатость.

Установлена существенная положительная корреляционная связь между урожайностью овса пленчатого Кировский 2 и содержанием пигментов во флаговом листе (таблица 4). Коэффициенты корреляции составили: для хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов (*Car*) соответственно $r = 0,95$; $0,93$ и $0,97$ (значимо при $p \leq 0,05$).

Таблица 4 – Содержание пигментов во флаговых листьях растений овса (среднее за 2019–2020 гг.)

Вариант	Количество пигментов, мг/г сухой массы					
	фаза выметывания			начало формирования зерна		
	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Car</i>	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Car</i>
2019 г.						
1 – контроль	5,27 ± 0,28	2,63 ± 0,16	1,75 ± 0,09	8,44 ± 0,91	6,66 ± 0,94	1,76 ± 0,13
2	6,47 ± 0,23*	3,69 ± 0,05*	1,83 ± 0,06	7,09 ± 0,37*	4,48 ± 0,21*	1,77 ± 0,10
3	5,03 ± 0,35	2,55 ± 0,08	1,61 ± 0,12	6,53 ± 0,04*	4,02 ± 0,14*	1,70 ± 0,06
4	6,23 ± 0,11*	3,46 ± 0,23*	1,78 ± 0,03	8,37 ± 0,05	5,67 ± 0,17	2,02 ± 0,05*
5	7,68 ± 0,10*	4,76 ± 0,03*	1,97 ± 0,05*	7,90 ± 0,50	5,40 ± 0,75	1,90 ± 0,03
2020 г.						
1 – контроль	9,36 ± 0,28	8,61 ± 0,27	1,67 ± 0,01	7,64 ± 0,50	6,61 ± 0,53	1,51 ± 0,48
2	8,71 ± 0,20*	8,15 ± 0,12*	1,56 ± 0,06*	9,49 ± 0,36*	8,19 ± 0,32*	1,86 ± 0,08
3	9,48 ± 0,14	8,26 ± 0,11	1,84 ± 0,02*	9,84 ± 0,15*	7,89 ± 0,26*	2,03 ± 0,04
4	9,11 ± 0,38	8,13 ± 0,11*	1,71 ± 0,12	10,31 ± 0,09*	9,25 ± 0,20*	1,87 ± 0,02
5	7,96 ± 0,97*	7,30 ± 0,81*	1,29 ± 0,37	9,51 ± 0,18*	8,25 ± 0,23*	1,77 ± 0,11

Примечание. * статистически значимое отличие от контроля при $p \leq 0,05$.

Результаты оценки влияния азотного удобрения на содержание пигментов в фазе выметывания в 2019 г. соответствуют теоретическим ожиданиям [9, 33] – улучшение азотного питания привело к повышению содержания хлорофилла, так как азот является основным элементом при синтезе хлорофилла. Исключение составил вариант 3, не отличившийся от контроля. Снижение дозы удобрения в первый срок обработки также закономерно снизило содержание пигментов (на 22,3 % и 30,1 % для *Chl a* и *b* соответственно). Однако во второй срок обработки эффект от снижения дозы удобрений был противоположным – содержание *Chl a* и *b* значимо повысилось на 23,3 и 37,5 %.

В 2020 г. внекорневые обработки азотным удобрением либо не повлияли на содержание пигментов флагового листа овса в фазе выметывания, либо значительно снизили его (на 5,3–15,2 %). При этом снижение дозы удобрения в первый срок повлияло только на *Chl a*, подняв его содержание на уровень контроля, а во второй срок содержание обоих хлорофилльных пигментов снизилось на 10,2–12,7 %. Возможным объяснением подобных результатов может быть различная потребность в азоте растений разных вариантов в конкретный период их развития: эффективность усвоения азота растениями и, соответственно, использование его для синтеза пигментов определялась сложившимися условиями вегетации.

Обработка растений овса препаратом «КАС 28» в первый срок в 2019 г. привела к значимому снижению содержания пигментов во флаговых листьях в фазе начала формирования зерна (*Chl a* – на 16,0–22,7 %; *Chl b* – на 32,8–39,6 %); понижение дозы препарата также значительно уменьшало содержание хлорофиллов (на 7,9 и 10,3 % для *Chl a* и *b* соответственно). При обработке растений во второй срок уровень содержания хлорофиллов совпадал с контрольным вариантом; изменения содержания каротиноидов отмечено только в варианте 4. Данные 2020 г. показали противоположную картину: обработка препаратом в оба срока приводила к статистически значимому увеличению содержания пигментов (*Chl a* – на 24,2–34,9 %; *Chl b* – на 19,4–39,9 %). Значимое снижение содержания хлорофиллов от пониженной дозы препарата отмечено только для второго срока обработки. На содержание каротиноидов обработка препаратом не оказала влияния.

На первых этапах вегетации (начало выхода в трубку) наблюдали отсутствие значимого эффекта препарата в первый срок обработки по массе сухого вещества растений, но обработка во второй срок значительно повысила величину этого показателя (таблица 5).

Таблица 5 – Масса сухого вещества одного растения овса пленчатого (среднее за 2019–2020 гг.)

Вариант	Фаза вегетации			
	начало выхода в трубку	конец выхода в трубку	выметывание	начало формирования зерна
1 – контроль	0,56 ± 0,04	1,39 ± 0,12	1,87 ± 0,06	2,62 ± 0,18
2	0,65 ± 0,07	1,14 ± 0,21	2,74 ± 0,06*	3,54 ± 0,15*
3	0,56 ± 0,06	0,88 ± 0,17*	2,34 ± 0,12*	3,37 ± 0,21*
4	0,64 ± 0,01*	1,30 ± 0,25	3,67 ± 0,28*	3,35 ± 0,18*
5	0,67 ± 0,05*	0,76 ± 0,09*	2,38 ± 0,21*	3,15 ± 0,25*

Примечание. * статистически значимое отличие от контроля при $p \leq 0,05$.

Однако к концу фазы выхода в трубку оба варианта с пониженной дозой препарата показали статистически значимое отставание от контроля. В последующем с фазы выметывания происходило более интенсивное накопление биомассы растениями в экспериментальных вариантах относительно контроля. Прирост составил в начале формирования зерна 0,53–0,92 г сухого вещества на растение, что затем обеспечило дополнительный урожай зерна. Снижение дозы применяемого препарата статистически значимо повлияло на массу сухого вещества растений только в конце выхода в трубку при обработке растений во второй срок (снижение на 42 %) и в фазе выметывания (на 14,6 % при обработке в первый срок и на 45,1 % при обработке во второй срок).

Схожая ситуация сложилась и для показателя скорости прироста массы одного растения (таблица 6). Если в начале фазы выхода в трубку в экспериментальных вариантах наблюдали отставание скорости прироста от контроля от 0,227 г/сутки (17,4 %) в варианте 2 до 0,594 г/сутки (или 45,3 %) в варианте 5 (вариант 4 был на

уровне контроля), то к концу данного периода наблюдали превышение показателя над контролем от 0,820 г/сутки (40,1 %) в вариантах 3 и 4 до 1,507 г/сутки (73,8 %) в варианте 2 (за исключением варианта 5, не отличающегося от контроля).

К началу формирования зерна, когда листья нижнего яруса заканчивали активную вегетацию, показатель скорости прироста сухой массы растения превысил контроль на 0,160–2,354 г/растение (5,4–79,9 %). Вариант 5 оставался на уровне контроля. Снижение дозы препарата во второй срок обработки значительно понижала скорость прироста массы растений (за исключением фазы конца выхода в трубку), при обработке в первый срок наблюдали снижение показателя в начале выхода в трубку, но статистически значимое превышение скорости прироста сухой массы на фазах выметывания и начала формирования зерна.

Таблица 6 – Скорость прироста массы 1 растения овса пленчатого, г/сутки (среднее за 2019–2020 гг.)

Вариант	Фаза вегетации			
	начало выхода в трубку	конец выхода в трубку	выметывание	начало формирования зерна
1 – контроль	1,310 ± 0,094	2,041 ± 0,176	2,814 ± 0,090	2,947 ± 0,202
2	1,083 ± 0,117*	3,548 ± 0,654*	3,239 ± 0,071*	3,489 ± 0,148*
3	0,848 ± 0,091*	2,862 ± 0,553*	5,099 ± 0,261*	5,301 ± 0,330*
4	1,273 ± 0,020	2,860 ± 0,550*	4,426 ± 0,338*	4,632 ± 0,249*
5	0,716 ± 0,053*	2,424 ± 0,287	2,941 ± 0,260	3,107 ± 0,247

Примечание. * статистически значимое отличие от контроля при $p \leq 0,05$.

При расчете прироста массы растений на единицу площади листьев (то есть чистой продуктивности фотосинтеза, ЧПФ) установлено, что ее максимальный прирост наблюдали в период «конец выхода в трубку – выметывание», когда все листья растений еще активно работали. Прирост составил относительно контроля от 5,88 г/(м²×сутки) (+74,5 %) в варианте применения «КАС 28» в рекомендованной дозе во второй срок до 12,81 г/(м²×сутки) (+263,2 %) при его использовании в первый срок в рекомендованной дозе; абсолютные показатели составили соответственно по вариантам 13,77 и 20,77 г/(м²×сутки), при 7,89 г/(м²×сутки) в контроле. ЧПФ показывает удельную производительность ассимиляционного аппарата, то есть накопление биомассы единицей площади листьев за единицу времени, г/(м²×сутки) и характеризует не фотосинтез в чистом виде, а суточную разницу между фотосинтезом и дыханием целого растения отнесенную к единице площади листьев.

Выводы

В среднем за годы исследования подкормка растений азотным удобрением «КАС 28» статистически значимо повышала урожайность овса сорта Кировский 2 по отношению к контролю без обработки на 5,4–16,2 % при уровне контрольного варианта 5,66 т/га.

Влияние препарата на параметры развития метелки зависело от условий года вегетации – в 2019 г. отличия от контроля практически отсутствовали, в 2020 г. отмечено положительное влияние препарата «КАС 28» на формирование длины и массы метелки, числа зерен и массы зерна с метелки (5,9–14,2 %) (значимо при $p \leq 0,05$). В 2019 г. только вариант 3 значимо на 0,9 % превысил по массе 1000 зерен контрольную величину (43,6 г), в остальных вариантах отмечено снижение параметра (на 1,1–7,8 %); в 2020 г. только вариант 2 оказался на уровне контроля (34,6 г), остальные варианты опыта привели к повышению массы 1000 зерен на 1,4–3,8 %. Натурная масса зерна в оба года исследований показала значимое увеличение при использовании препарата «КАС 28» (от 1,5 до 5,2 % при 573 г/л в контроле). Пленчатость зерна, в целом, снижалась от применения препарата (на 1,4–3,9 %) по

сравнению с контролем (25,6 абс. %) кроме варианта 3 в 2020 г. (повышение на 1,6 %) и варианта 5 в 2019 г. (на уровне контроля = 22,1 абс. %).

Обработка растений овса препаратом «КАС 28» в первый срок в 2019 г. привела к значимому снижению содержания пигментов во флаговых листьях в период начала формирования зерна: *Chl a* на 16,0–22,7 % и *Chl b* на 32,8–39,6 % (в контроле – 8,44 и 6,66 мг/г соответственно). При обработке растений во второй срок уровень содержания хлорофиллов совпадал с контрольным вариантом. В 2020 г. обработка препаратом в оба срока приводила к статистически значимому увеличению содержания хлорофиллов (*Chl a* – на 24,2–34,9 %; *Chl b* – на 19,4–39,9 %). На содержание каротиноидов обработка препаратом не оказала влияния.

Начиная с фазы выметывания происходило более интенсивное накопление массы растениями в экспериментальных вариантах относительно контроля. Прирост составил в начале формирования зерна 0,53–0,92 г сухого вещества на растение.

Таким образом, для получения более высокой урожайности зерна овса сорта Кировский 2 приемлемого качества и снижения уровня антропогенной нагрузки на агроэкосистему можно рекомендовать внекорневую подкормку растений в фазе выхода в трубку препаратом «КАС 28» в дозе, пониженной на 40 % от рекомендуемой производителем (то есть 21 л/га в баковой смеси 200 л).

Литература

1. Nwachukwu I. D., Devassy J. G., Aluko R. E., Jones P. J. H. Cholesterol-lowering properties of oat β -glucan and the promotion of cardiovascular health: did Health Canada make the right call? // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2015. Vol. 40. P. 535–542. DOI: 10.1139/apnm-2014-0410.
2. Schuster J., Beninca G., Vitorazzi R., Bosco S.M.D. Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss // *Nutrición Hospitalaria*. 2015. Vol. 32. P. 2111–2116.
3. Gorash A., Armoniene R., Mitchell Fetch J., Liatukas Ž., Danyte V. Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives // *Annals of Applied Biology*. 2017. Vol. 171(3). P. 543. DOI: 10.1111/aab.12375.
4. Российский рынок овса – тенденции и прогнозы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-ovsa---tendencii-i-prognozy> (дата обращения 09.08.2021).
5. Лучшие страны-производители овса. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.atlasbig.com/ru/страны-по-производству-овса> (дата обращения 09.08.2021).
6. Sundaram P. K., Mani I., Lande S. D., Parray R. A. Evaluation of urea ammonium nitrate application on the performance of wheat // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 2019. Vol. 8(01). P. 1956–1963. DOI: 10.20546/ijemas.2019.801.205.
7. Reginatto D. C., Silva J. A. G., Carbonera R., Menegassi C. A. B., Libardoni F., Kraisig A. R., Carvalho I. R., da Rosa J. A., Peter C. L., Basso N. C. F., Berlezi J. D., Porazzi F. U. Sustainable optimization of nitrogen uses in oat at sowing and top-dressing stages // *Australian Journal of Crop Science*. 2021. Vol. 15(1). P. 23–31. DOI: 10.21475/ajcs.21.15.01.2333.
8. Ladha J. K., Tirol-Padre A., Reddy C. K., Cassman K. G., Verma S., Powlson D. S., Pathak H. Global nitrogen budgets in cereals: a 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems // *Sci. Rep*. 2016. No. 6. P. 1–9. DOI: 10.1038/srep19355.
9. Kizilgeci F., Yildirim M., Islam M. S., Ratnasekera D., Iqbal M. A., Sabagh A. E. Normalized difference vegetation index and chlorophyll content for precision nitrogen management in durum wheat cultivars under semi-arid conditions // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 3725. DOI: 10.3390/su13073725.
10. Brezolin A. P., Silva J. A. G., Roos-Frantz F. C., Binelo M. O., Valdiero A. C., Zimmer C. M., Mantai R. D., Marolli A., Scremin O. B., Mazurkiewicz G. The efficiency of wheat yields by nitrogen dose and fractionation // *Afr. J. Agric. Res*. 2016. Vol. 11. P. 3440–3449. DOI: 10.5897/AJAR2016.11249.
11. Sponchiado J., Souza C., Sangoi L., Coelho C., Stefen D. Late nitrogen topdressing increases nutritional and industrial quality of white oat (*Avena sativa*) grain // *Australian Journal of Crop Science*. 2020. Vol. 14(9). P. 1355–1361. DOI: 10.21475/ajcs.20.14.09. P. 1844.
12. Arenhardt E. G., Silva J. A. G., Gewehr E., Oliveira A. C., Binelo M. O., Valdiero A. C., Gzergorczyk M. E., Lima A. R. C. The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in Southern Brazil // *Afr. J. Agric. Res*. 2015. Vol. 10. P. 4322–4330. DOI: 10.5897/AJAR2015.10038.
13. Kraisig A., Silva J., Carvalho I., Lautenchleger F., Mamann Â., Fachinnetto J., Pereira L., Basso N., Argenta C., Norbert L., Berlezi J. Time of nitrogen supply in yield and industrial quality of oat grains by agricultural condition // *Journal of Agricultural Studies*. 2020. Vol. 8(4). P. 128. DOI: 10.5296/jas.v8i4.17249.

14. Barbosa J. A., Faria R. T., Coelho A. P., Dalri A. B., Palaretti L. F. Nitrogen fertilization management in white oat using spectral indices // *Pesq. Agropec. Trop.* 2020. Vol. 50. Art. No. e64924. DOI: 10.1590/1983-40632020v5064924.
15. Singh V., Singh B., Singh Y., Thind H. S., Gupta R. K. Need based nitrogen management using the chlorophyll meter and leaf colour chart in rice and wheat in south Asia: a review // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2010. Vol. 88. P. 361–380. DOI: 10.1007/s10705-010-9363-7.
16. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1, 2 // Под общ. ред. М. А. Федина. М.: Колос, 1985. 267 с.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.
18. Карбомидно-аммиачная смесь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://spetshimagro.ru/products/dlya-selskogo-hozyajstva/zhku-chudozem/kas/> (дата обращения: 09.08.2021)
19. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // *Current protocols in food analytical chemistry*. 2001. F. 4.3.1-F. 4.3.8.
20. Ничипорович А. А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах: методы и задачи учета в связи с формированием урожая. М.: АН СССР, 1961, 135 с.
21. Chen Y., Zhang Z., Tao F. Impacts of climate change and climate extremes on major crops productivity in China at a global warming of 1.5 and 2.0 °C // *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 2018. Vol. 9. P. 543–562. DOI: 10.5194/esd-2017-99.
22. Raza A., Razzaq A., Mehmood S. S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review // *Plants*. 2019. Vol. 8(2). Art. No. 34. DOI: 10.3390/plants8020034.
23. Mantai R. D., Silva J. A. G., Sausen A. T. Z. R., Costa J. S. P., Fernandes S. B. V., Ubessi C. Efficiency in the production of biomass and oat grains by the use of nitrogen // *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2015. Vol. 19. P. 343–349. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p343-349.
24. Silva J. A. G., Arenhardt E. G., Krüger C. A. M. B., Lucchese O. A., Metz M., Marolli A. The expression of the components of wheat yield by technological class and nitrogen use // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2015. Vol. 19. P. 27–33. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p27-33.
25. Cover C., Federizzi L. C., Pacheco M. T. Phenotypic and genotypic characterization agronomic traits in a population of recombinant inbred lines of oats (*Avena sativa* L.) // *Ciência Rural*. 2011. Vol. 41. P. 573–579. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000030.
26. Hawerth M. C., da Silva J. A. G., Gutkoski L. C., Arenhardt E. G., de Oliveira A. C., de Carvalho F. I. F. Correlations between chemistry components of caryopsis in oat genotypes cultivated in different environments // *African Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 10(47). P. 4295–4305. DOI: 10.5897/AJAR2015.10079.
27. Irfan M., Ansar M., Sher A., Wasaya A., Sattar A. Improving forage yield and morphology of oat varieties through various row spacing and nitrogen application // *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2016. Vol. 26(6). P. 1718–1724
28. Mantai R. D., da Silva J. A. G., Arenhardt E. G., Sausen A. T. Z. R., Binello M. O., Bianchi V., da Silva D. R., Bandeira L. M. The dynamics of relation oat panicle with grain yield by nitrogen // *American Journal of Plant Sciences*. 2016. No. 7. P. 17–27. DOI: 10.4236/ajps.2016.71003.
29. Kurek A. J., Carvalho F. I. F., Cruz P. J., Lorencetti C., Cagynin A., Simioni D. Variability in fixed genotypes of white oats through morphologic traits // *Revista Brasileira de Agrociência*. 2002. Vol. 8. P. 13–17.
30. De K., Zhou Q., Liu W., Xu C., Wang D. Effects of nitrogen application on the yield and quality of oat in Qinghai-Tibet Plateau // *Chinese Journal of Grassland*. 2007. Vol. 29. P. 43–48.
31. Coelho A. P., Faria R. T., Barbosa A. M. S., Dalri A. B., Rosalen D. L. Agronomic performance of white oat cultivated under fertigation with treated sewage effluent and definition of critical limits of normalized difference vegetation index // *Bragantia*. 2019. Vol. 78(4). P. 553–563. DOI: 10.1590/1678-4499.20190082.
32. Silva J. A. G., Goi Neto C. J., Fernandes S. B., Mantai R. D., Scremin O. B., Pretto R. Nitrogen efficiency in oats on grain yield with stability // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2016. Vol. 20(12). P. 1095–1100. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1095-1100.
33. Ghosh M., Swain D. K., Jha M. K., Tewari V. K., Bohra A. Optimizing chlorophyll meter (SPAD) reading to allow efficient nitrogen use in rice and wheat under rice-wheat cropping system in eastern India // *Plant Production Science*. 2020. Vol. 23(3). P. 270–285. DOI: 10.1080/1343943X.2020.1717970.

References

1. Nwachukwu I. D., Devassy J. G., Aluko R. E., Jones P. J. H. Cholesterol-lowering properties of oat β -glucan and the promotion of cardiovascular health: did Health Canada make the right call? // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2015. Vol. 40. P. 535–542. DOI: 10.1139/apnm-2014-0410.
2. Schuster J., Beninca G., Vitorazzi R., Bosco S.M.D. Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss // *Nutrición Hospitalaria*. 2015. Vol. 32. P. 2111–2116.

3. Gorash A., Armoniene R., Mitchell Fetch J., Liatukas Ž., Danyte V. Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives // *Annals of Applied Biology*. 2017. Vol. 171(3). P. 543. DOI: 10.1111/aab.12375.
4. Russian oat market – trends and forecasts. [Electronic resource]. Access point: <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-ovsa---tendencii-i-prognozy> (reference's date 09.08.2021).
5. The best oat producing countries. [Electronic resource]. Access point: <https://www.atlasbig.com/ru/страны-по-производству-овса> (reference's date 09.08.2021)
6. Sundaram P. K., Mani I., Lande S. D., Parray R. A. Evaluation of urea ammonium nitrate application on the performance of wheat // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2019. Vol. 8(01). P. 1956–1963. DOI: 10.20546/ijemas.2019.801.205.
7. Reginatto D. C., Silva J. A. G., Carbonera R., Menegassi C. A. B., Libardoni F., Kraisig A. R., Carvalho I. R., da Rosa J. A., Peter C. L., Basso N. C. F., Berlezi J. D., Porazzi F. U. Sustainable optimization of nitrogen uses in oat at sowing and top-dressing stages // *Australian Journal of Crop Science*. 2021. Vol. 15(1). P. 23–31. DOI: 10.21475/ajcs.21.15.01.2333.
8. Ladha J. K., Tirol-Padre A., Reddy C. K., Cassman K. G., Verma S., Powlson D. S., Pathak H. Global nitrogen budgets in cereals: a 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems // *Sci. Rep.* 2016. No. 6. P. 1–9. DOI: 10.1038/srep19355.
9. Kizilgeci F., Yildirim M., Islam M. S., Ratnasekera D., Iqbal M. A., Sabagh A. E. Normalized difference vegetation index and chlorophyll content for precision nitrogen management in durum wheat cultivars under semi-arid conditions // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 3725. DOI: 10.3390/su13073725.
10. Brezolin A. P., Silva J. A. G., Roos-Frantz F. C., Binelo M. O., Valdiero A. C., Zimmer C. M., Mantai R. D., Marolli A., Scremin O. B., Mazurkiewicz G. The efficiency of wheat yields by nitrogen dose and fractionation // *Afr. J. Agric. Res.* 2016. Vol. 11. P. 3440–3449. DOI: 10.5897/AJAR2016.11249.
11. Sponchiado J., Souza C., Sangoi L., Coelho C., Stefen D. Late nitrogen topdressing increases nutritional and industrial quality of white oat (*Avena sativa*) grain // *Australian Journal of Crop Science*. 2020. Vol. 14(9). P. 1355–1361. DOI: 10.21475/ajcs.20.14.09. P.1844.
12. Arenhardt E. G., Silva J. A. G., Gewehr E., Oliveira A. C., Binelo M. O., Valdiero A. C., Gzregorczick M. E., Lima A. R. C. The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in Southern Brazil // *Afr. J. Agric. Res.* 2015. Vol. 10. P. 4322–4330. DOI: 10.5897/AJAR2015.10038.
13. Kraisig A., Silva J., Carvalho I., Lautenchleger F., Mamann Â., Fachinnetto J., Pereira L., Basso N., Argenta C., Norbert L., Berlezi J. Time of nitrogen supply in yield and industrial quality of oat grains by agricultural condition // *Journal of Agricultural Studies*. 2020. Vol. 8(4). P. 128. DOI: 10.5296/jas.v8i4.17249.
14. Barbosa J. A., Faria R. T., Coelho A. P., Dalri A. B., Palaretti L. F. Nitrogen fertilization management in white oat using spectral indices // *Pesq. Agropec. Trop.* 2020. Vol. 50. Art. No. e64924. DOI: 10.1590/1983-40632020v5064924.
15. Singh V., Singh B., Singh Y., Thind H. S., Gupta R. K. Need based nitrogen management using the chlorophyll meter and leaf colour chart in rice and wheat in south Asia: a review // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2010. Vol. 88. P. 361–380. DOI: 10.1007/s10705-010-9363-7.
16. Methods of State varietal test of agricultural crops. Iss. 1, 2 // Ed. by M. A. Fedin. Moscow: Kolos, 1985. 267 p.
17. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1973. 336 p.
18. Urea-ammonium nitrate (UAN). [Electronic resource]. Access point: <http://spetshimagro.ru/products/dlya-selskogo-xozyajstva/zhku-chudozem/kas/> (reference's date 09.08.2021)
19. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // *Current protocols in food analytical chemistry*. 2001. F. 4.3.1-F. 4.3.8.
20. Nichiporovich A. A. Photosynthetic activity of plants in crops: methods and tasks of accounting in connection with the formation of crops. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1961. 135 p.
21. Chen Y., Zhang Z., Tao F. Impacts of climate change and climate extremes on major crops productivity in China at a global warming of 1.5 and 2.0 °C // *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 2018. Vol. 9. P. 543–562. DOI: 10.5194/esd-2017-99.
22. Raza A., Razzaq A., Mehmood S. S., Zou X., Zhang X., Lv Y., Xu J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review // *Plants*. 2019. Vol. 8(2). Art. No. 34. DOI: 10.3390/plants8020034.
23. Mantai R. D., Silva J. A. G., Sausen A. T. Z. R., Costa J. S. P., Fernandes S. B. V., Ubessi C. Efficiency in the production of biomass and oat grains by the use of nitrogen // *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2015. Vol. 19. P. 343–349. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p343-349.
24. Silva J. A. G., Arenhardt E. G., Krüger C. A. M. B., Lucchese O. A., Metz M., Marolli A. The expression of the components of wheat yield by technological class and nitrogen use // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2015. Vol. 19. P. 27–33. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p27-33.

25. Cover C., Federizzi L. C., Pacheco M. T. Phenotypic and genotypic characterization agronomic traits in a population of recombinant inbred lines of oats (*Avena sativa* L.) // *Ciência Rural*. 2011. Vol. 41. P. 573–579. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000030.
26. Hawerth M. C., da Silva J. A. G., Gutkoski L. C., Arenhardt E. G., de Oliveira A. C., de Carvalho F. I. F. Correlations between chemistry components of caryopsis in oat genotypes cultivated in different environments // *African Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 10(47). P. 4295–4305. DOI: 10.5897/AJAR2015.10079.
27. Irfan M., Ansar M., Sher A., Wasaya A., Sattar A. Improving forage yield and morphology of oat varieties through various row spacing and nitrogen application // *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2016. Vol. 26(6). P. 1718–1724
28. Mantai R. D., da Silva J. A. G., Arenhardt E. G., Sausen A. T. Z. R., Binello M. O., Bianchi V., da Silva D. R., Bandeira L. M. The dynamics of relation oat panicle with grain yield by nitrogen // *American Journal of Plant Sciences*. 2016. No. 7. P. 17–27. DOI: 10.4236/ajps.2016.71003.
29. Kurek A. J., Carvalho F. I. F., Cruz P. J., Lorencetti C., Cagynin A., Simioni D. Variability in fixed genotypes of white oats through morphologic traits // *Revista Brasileira de Agrociência*. 2002. Vol. 8. P. 13–17.
30. De K., Zhou Q., Liu W., Xu C., Wang D. Effects of nitrogen application on the yield and quality of oat in Qinghai-Tibet Plateau // *Chinese Journal of Grassland*. 2007. Vol. 29. P. 43–48.
31. Coelho A. P., Faria R. T., Barbosa A. M. S., Dalri A. B., Rosalen D. L. Agronomic performance of white oat cultivated under fertigation with treated sewage effluent and definition of critical limits of normalized difference vegetation index // *Bragantia*. 2019. Vol. 78(4). P. 553–563. DOI: 10.1590/1678-4499.20190082.
32. Silva J. A. G., Goi Neto C. J., Fernandes S. B., Mantai R. D., Scremin O. B., Pretto R. Nitrogen efficiency in oats on grain yield with stability // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2016. Vol. 20(12). P. 1095–1100. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1095-1100.
33. Ghosh M., Swain D. K., Jha M. K., Tewari V. K., Bohra A. Optimizing chlorophyll meter (SPAD) reading to allow efficient nitrogen use in rice and wheat under rice-wheat cropping system in eastern India // *Plant Production Science*. 2020. Vol. 23(3). P. 270–285. DOI: 10.1080/1343943X.2020.1717970.

UDC 633.13:631.84:547.979.7

Batalova G. A., Lisitsyn E. M., Vologzhanina E. N., Zhuravleva G. P.

EFFECT OF TIMING AND DOSAGE OF “KAS 28” APPLICATION ON OAT PLANTS DEVELOPMENT

Summary. *To determine the optimal options for using fertilizer “KAS 28” when growing hulled (covered) oat cv. ‘Kirovsky 2’, the following options were investigated: 1 – control (no fertilizer); 2 – “KAS 28” in the recommended dose (35 l/ha) at the tillering stage; 3 – crops treatment with “KAS 28” – 60 % of the recommended dose (21 l/ha) at the tillering stage; 4 – “KAS 28” in the recommended dose at the beginning of stem elongation stage; 5 – crops treatment with “KAS 28” – 60% of the recommended dose at the beginning of stem elongation stage. The studies were carried out in 2019-2020. Over the year of research, the average yield varied from 5.52 t/ha in option 3 (at control level) to 6.59 t/ha in option 5 (16.0 % over control). Variants 2 and 4 exceeded control by 0.49 and 0.50 t/ha (8.8 %), respectively. Treatment with a reduced dose of fertilizer in the tillering stage reduced yield by 0.65 t/ha (10.6 %), at the beginning of stem elongation stage, on the contrary, increased it by 0.41 t/ha (6.6 %). “KAS 28” application led to an increase in the panicle length by 3.5–5.3 % compared to control (16.9 cm), the number of grains per panicle by 5.3-12.0 % (48 pcs in the control variant), the grain weight per panicle by 5.6-23.4 % (control – 1.78 g). Generally, the application of a reduced dose of fertilizer was less efficient. However, fertilizer dose decrease led to a statistically significant increase in 1000-grain weight indicator (by 0.55–1.61 g or 1.4–4.1 %). To increase the yield of oat cv. ‘Kirovsky 2’ and reduce the anthropogenic load on the agroecosystem, we offer to carry out topdressing at the stem elongation stage with the fertilizer “KAS 28” at a dose of 21 l/ha.*

Keywords: *oat (*Avena sativa* L.), nitrogen nutrition, topdressing, carotenoids, volume weight, filmness, net productivity of photosynthesis, chlorophyll.*

Баталова Галина Аркадьевна, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель директора, ФГНБУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166а, 610007, Россия; e-mail: g.batalova@mail.ru.

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

Вологжанина Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГНБУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166а, 610007, Россия; e-mail: helen.vol@list.ru.

Журавлёва Галина Павловна, младший научный сотрудник, ФГНБУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; г. Киров, ул. Ленина, 166а, 610007, Россия; e-mail: edaphic@mail.ru.

Batalova Galina Arkadievna, Dr. Sc. (Agr.), member of the RAS, deputy director, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: g.batalova@mail.ru.

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

Vologzhanina Elena Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), researcher, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: helen.vol@list.ru.

Zuravleva Galina Pavlovna, junior researcher, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: edaphic@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 25.10.2021.

Дата принятия к печати – 11.11.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-22-39

УДК 632.3

Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б.
**ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ВИДОВ РАСТЕНИЙ, ПОРАЖАЕМЫХ
ФИТОПЛАЗМОЙ ГРУППЫ X-БОЛЕЗНИ (16Sr-III) В РОССИИ**
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»

Реферат. В мире происходит усиление вредоносности заболеваний растений, переносимых насекомыми, в том числе фитоплазменных инфекций. В России фитоплазмы изучены недостаточно. Цель исследований – мониторинг фитоплазменных болезней в различных экономических районах РФ и определение таксономической принадлежности их возбудителей. В задачу исследований входило выявление видового состава растений, поражаемых фитоплазмами, принадлежащими к группе 16Sr-III, и их потенциальных переносчиков. Молекулярно-генетические исследования проводили во ВНИИФ в 2006–2021 гг. Материалом исследований являлись растения с симптомами фитоплазменного инфицирования и цикадки, собранные в Московской и Самарской областях. Наличие ДНК фитоплазмы в образцах определяли, используя последовательно прямую и вложенную ПЦР с соответствующими парами праймеров: P1/16S-SR и R16F2n/R16R2. Идентификацию фитоплазм проводили, анализируя полиморфизм длины рестрикционных фрагментов (ПДРФ) после обработки ампликонов ДНК длиной 1,2 Kb эндонуклеазами рестрикции. В четверти проанализированных образцов картофеля и в пяти из восьми обследованных экономических районов – Поволжском, Северо-Кавказском, Уральском, Центральном и Западно-Сибирском обнаружена фитоплазма группы 16SrIII. Также фитоплазма группы 16SrIII обнаружена в стручковом перце и петунии садовой и в двух видах дикого картофеля. Всего фитоплазма X-болезни выявлена в 51 виде растений из 19 семейств, в том числе среди бобовых (12 видов), астровых (10), розовых (6) и паслёновых (5). В других семействах выявлено по одному-два вида носителей этого вида фитоплазмы. В растительном материале наиболее часто обнаруживали фитоплазму подгруппы 16SrIII-B. Фитоплазма подгруппы 16SrIII-F выявлена в двух видах растений – астильбе (*Astilbe thunbergii* (Siebold & Zucc.) Miq.) и клевере гибридном (*Trifolium hybridum* L.). В потенциальных переносчиках – цикадках *Euscelis incisa* Kirschbaum, *Sonronius binotatus* Sahlberg, *Macrostoteles laevis* Rib. и *Psammotettix striatus* L. обнаружена фитоплазма группы 16SrIII, в том числе подгрупп 16SrIII-O и 16SrIII-P.

Ключевые слова: фитоплазма, X-болезнь, 'Candidatus Phytoplasma pruni', группа 16SrIII, насекомые-переносчики, ПЦР, ПДРФ-анализ.

Для цитирования: Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. Оценка разнообразия видов растений, поражаемых фитоплазмой группы X-болезни (16Sr-III) в России // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 22–39. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-22-39.

For citation: Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastalyeva T. B. Assessment of diversity of plant species affected by phytoplasma of X-disease (16SR-III) group in Russia // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 22–39. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-22-39.

Введение

С потеплением климата во всём мире приобрели высокую распространённость и вредоносность фитоплазменные заболевания культурных и дикорастущих растений. Фитоплазмы представляют собой бактерии класса *Mollicutes*, лишённые клеточной

стенки, неспособные расти на традиционных искусственных питательных средах, поэтому для точной диагностики этих растительных облигатных паразитов необходимо применять молекулярно-генетические методы (ПЦР, ПДРФ, секвенирование). Уже к 2002 г. с помощью этих методов фитоплазмы были выявлены у растений более 1000 видов. В 2008 г. в доказательство широкого круга растений-хозяев фитоплазм, приводили цифру принадлежности их более чем к 100 семействам, включая виды сельскохозяйственного назначения, декоративные, сорные и дикорастущие [1–3]. В более поздних работах, несмотря на то, что каждый год обнаруживают фитоплазмы у новых видов, авторы приводят те же цифры 1000 видов и 100 семейств с добавлением слова «более». По-видимому, более точный подсчет уже затруднителен [4].

Разработка генетической классификации фитоплазм по последовательности нуклеотидов 16Sг гена позволила выявить 42 их вида, относящихся к роду ‘*Ca. Phytoplasma*’, 33 группы и 160 подгрупп фитоплазм [5, 6]. Фитоплазмы обитают в ситовидных элементах флоэмы растений, специфически связаны с насекомыми-переносчиками; для некоторых из них установлена трансвариальная передача. В межсезонье фитоплазмы сохраняются во флоэме корней многолетних растений или в диапаузирующих векторах, которые в летний период заражают здоровые растения. Распространению фитоплазм способствуют также вегетативные способы размножения, срастание корней здоровых и больных растений и передача посредством растения-паразита повилики. В отдельные годы происходят эпифитотии на однолетних растениях, вызванные массовым размножением переносчиков, что приводит к катастрофическому снижению урожая или гибели растений от вторичных инфекций. На многолетниках фитоплазмоносительство имеет перманентный характер, что приводит к выпадам растений.

В начале 30-х гг. в восточных штатах США широкое распространение получило заболевание персика неизвестной этиологии. За ним закрепилось название X-болезнь персика. Болезнь поражала и другие косточковые культуры, в том числе черешню, вишню и черемуху. Это заболевание очень вредоносно, оно приводит молодые деревья к гибели через один–три года после появления первых симптомов. Зараженные старые деревья могут выживать еще в течение нескольких лет, но слабо плодоносят или вообще не образуют плодов. Заболевание широко распространено в Северной Америке, но больше пока нигде не обнаружено [7, 8].

Согласно недавнему анализу, проведенному специалистами университетов штатов Вашингтон и Огайо, в США только за период 2015–2020 гг. из-за X-болезни были вырублены около четверти миллиона деревьев персика и вишни (более 238 856 деревьев). Это снизило доходность отрасли примерно на 30 миллионов долларов в 2020 г. и на 65 миллионов долларов за пятилетку. Учитывая стоимость потерь и затрат на восстановление уничтоженных посадок, за семилетний период расходы садоводов составили примерно 115 миллионов долларов [9].

С внедрением в научно-исследовательскую практику молекулярно-генетических методов исследования и классификации фитоплазм на основе гена, кодирующего 16S рРНК, была определена таксономическая принадлежность патогена, вызывающего X-болезнь персика. Возбудитель получил видовое название ‘*Candidatus Phytoplasma pruni*’ и был отнесен к подгруппе 16SrIII-A, группы 16SrIII. За болезнями, вызываемыми фитоплазмами группы 16SrIII, сохранилось название X-болезни (X-disease). В настоящее время эти болезни известны также в Европе (в том числе в России), в Азии, Африке и Южной Америке.

В Европе выявлено семь подгрупп фитоплазм, относящихся к группе 16SrIII: 16SrIII-B, 16SrIII-F, 16SrIII-J, 16SrIII-O, 16SrIII-P, 16SrIII-T и 16SrIII-R, а внутри каждой подгруппы – от одного до семи видов. Всего же в мире в группе X-болезни

известно более 26 подгрупп, что превысило количество букв английского алфавита, используемых для обозначения подгрупп.

По всему миру (Северная и Южная Америка, Африка, Европа и Азия) фитоплазма X-болезни обнаружена у более 100 видов растений, относящихся более чем к 30 семействам. По нашим примерным подсчетам, наибольшее количество видов растений, инфицированных фитоплазмой этой группы, выявлено в семействах розовых (29 видов), астровых (17 видов), бобовых (10 видов), паслёновых (7 видов) и тыквенных (6 видов). В европейских странах – Великобритании, Германии, Италии, Литве, Польше, Сербии и Чехии, фитоплазма выявлена в 20 видах из 9 семейств, а именно: астровых (семь видов), бобовых (четыре вида), розовых (два вида), по одному виду в семействах вересковых, вьюнковых, зонтичных, лютиковых, маревых, миртовых и рутовых.

К 2010 г. исследователи разных стран расшифровали последовательности 16SrIII ампликонов ДНК фитоплазмы различных видов, принадлежащих к 18 подгруппам: 16SrIII-A (Канада), 16SrIII-A, 16SrIII-B (Литва), 16SrIII-F (Германия), 16SrIII-C, -D, -E, -G, -H, -K, -M, -N, -Q, -S (США), 16SrIII-J (Бразилия), 16SrIII-L (Мексика), 16SrIII-(P/O)P, -(R/V)R (Литва) [10, 11].

В дальнейшем находили новые подгруппы фитоплазмы группы 16SrIII: 16SrIII-V (США), 16SrIII-U (Бразилия), 16SrIII-W и 16SrIII-X (Аргентина) [12–15]. В 2014 г. была добавлена подгруппа 16SrIII-Y (США) [16], а в 2016 г. – подгруппа 16SrIII-Z (Бразилия) [17]. После этого букв для обозначения новых подгрупп в английском алфавите не осталось, а новые подгруппы в группе 16SrIII продолжали находить [18].

Фитоплазма подгрупп 16SrIII-O и 16SrIII-P или 16SrIII-(P/O)P (*Dandelion virescence phytoplasma – DanVir*) была обнаружена в Литве на одуванчике с симптомами виресценции соцветий, а позднее фитоплазма 16SrIII-P была выявлена также в Литве в цикадке *Euscelis incisa* (Kirschbaum) и *Aphrodes* sp., а 16SrIII-B – в цикадке *Anaceratagallia ribauti* Ossiannilsson [19–21].

Фитоплазмы подгрупп 16SrIII-A, 16SrIII-J, 16SrIII-K, 16SrIII-S, 16SrIII-T и 16SrIII-Q идентифицированы на ягодных культурах в Аргентине, Боливии, Италии, Канаде, Литве, Польше, США и Чили [15, 18, 22–25].

В 2009–2012 гг. за рубежом проведена частичная расшифровка геномных последовательностей (Draft genome sequences) четырех штаммов фитоплазм, принадлежащих к трем подгруппам: 1) 16SrIII-B – ‘*Ca. Phytoplasma Italian clover phyllody*’ (филлодии итальянского клевера), штамм MA, 2) 16SrIII-F – ‘*Ca. Phytoplasma Milkweed witches’-broom*’ (ведьминой метлы молочая), штамм MW1 и ‘*Ca. Phytoplasma Vaccinium witches’-broom*’ (ведьминой метлы голубики), штамм VAC и 3) 16SrIII-H – ‘*Ca. Phytoplasma Poinsettia branch inducing*’ (индуцирующей ветвление пуансеттии), штамм JR1 PoiBI. Их геномы составили от 583 до 670 тыс. пар нуклеотидов [26]. Несмотря на принадлежность к разным подгруппам 16SrIII группы, геномы этих четырех штаммов были сходными и включали высоко консервативное ядро и минорный штамм-специфичный компонент. Что касается их белкового комплемента, они не отличались существенно по своему базовому метаболическому потенциалу от геномов других фитоплазм с широким кругом хозяев, секвенированных ранее, но отличались от штаммов других видов и между собой генами, кодирующими функции, предположительно связанные с взаимодействиями с хозяином, такие как компоненты мембранного транспорта, протеазы, ДНК-метилазы, эффекторы и др. Результаты также указывали на значительную роль горизонтального переноса генов между различными видами ‘*Ca. Phytoplasma*’ в формировании геномов фитоплазм и повышении их разнообразия [10].

В 2015 г. опубликованы данные по частичной расшифровке генома ‘*Ca. Phytoplasma pruni*’ и получена информация по 598508 парам нуклеотидной

последовательности. В результате идентифицировано 602 гена, кодирующих белок. По мнению авторов, доступность черновой последовательности генома 16SrIII-A СХ в сочетании с уже существующими другими четырьмя черновыми последовательностями генома штаммов группы 16SrIII облегчат идентификацию специфических геномных особенностей этой группы, которые могут быть ответственны за патогенез, вызываемый различными штаммами 'Ca. Phytoplasma' группы 16SrIII. Все пять штаммов проявляют характерные симптомы у их общего хозяина *Catarantus roseus* (L.) G. Don. [27].

В 2016 и 2020 гг. в Южной Америке были частично расшифрованы геномы штаммов фитоплазм подгрупп 16SrIII-J (Чили) и 16SrIII-B, штамма ChTDIII (Аргентина) [28, 29]. Чилийский изолят имел геном длиной 687253 пар нуклеотидов. Ген *IdpA*, кодирующий иммунодоминантный мембранный белок, на 85 % идентичен нуклеотидной последовательности фитоплазмы ведьминой метлы голубики (*Vaccinium witches'-broom'*), штамма VAC и на 85 % аминокислотной последовательности (76 % идентичности) фитоплазмы филлодии итальянского клевера (Italian clover phyllody), штамма MA1. Аргентинский изолят содержал 790517 пар нуклеотидов и кодировал 672 белка. Таким образом, расшифровка геномов семи штаммов из пяти подгрупп фитоплазм группы X-болезни способствует лучшему пониманию их разнообразия и механизма патогенности.

Среди переносчиков фитоплазм группы 16SrIII в США известны виды семейства цикадовых (Cicadellidae), родов: *Colladonus*, *Euscelidius*, *Fieberiella*, *Graphocephala*, *Gyponana*, *Keonella*, *Norvellina*, *Osbornellus*, *Paraphlepsius*, *Scaphytopius*, из них *Euscelidius variegatus* Kirschbaum и *Fieberiella florii* Stal. европейского происхождения [30]. В Бразилии среди возможных переносчиков фитоплазмы выявлены виды цикадок родов *Agallia*, *Agalliana*, *Atanus*, *Balcluta* [31]. В Мексике – *Circulifer tenellus* Baker (Cicadellidae) [32]. В Сербии экспериментально установлено, что цикадка *Euscelis incisa* является переносчиком фитоплазмы подгруппы 16SrIII-B [33].

Цель исследований – мониторинг болезней, вызываемых фитоплазмами в РФ и определение таксономической принадлежности их возбудителей.

Задачи исследования: 1) определение видового состава растений, инфицированных фитоплазмами, принадлежащими к группе 16SrIII; 2) выявление потенциальных переносчиков фитоплазмы 16SrIII в РФ; 3) обобщение собственных многолетних данных о болезнях, вызываемых фитоплазмой, относящейся к группе X-болезней.

Материалы и методы исследований

Молекулярные исследования проводили во ВНИИ фитопатологии в 2006–2021 гг.

Материалом для исследований служили свежие или высушенные образцы растений с признаками фитоплазменного инфицирования, собранные в восьми экономических районах РФ: Северном, Северо-Западном, Центральном, Поволжском, Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском, Уральском и Западно-Сибирском. Насекомых отряда Hemiptera подотряда полужесткокрылых цикадовых (*Auchenorrhyncha* Dumeril.), обитающих на картофеле и бобовых, собирали с помощью энтомологического сачка с 10 площадок непосредственно на полях соответствующих культур или вблизи них в Московской и Самарской областях. Наличие ДНК фитоплазмы в образцах определяли, используя последовательно прямую и вложенную ПЦР с соответствующими парами праймеров: P1/16S-SR и R16F2n/R16R2. Идентификацию фитоплазм проводили, анализируя полиморфизм длины рестрикционных фрагментов (ПДФ) после обработки ампликонов ДНК длиной 1,2 Кб эндонуклеазами рестрикции [34–36]. Картину полиморфизма длины рестрикционных фрагментов полученных электрофоретических профилей сравнивали с известными опубликованными реальными и виртуальными профилями [37, 38].

Результаты и их обсуждение

Начиная с 2006 г. и до 2020 г., фитоплазма группы 16SrIII обнаружена в 193 образцах культурных и дикорастущих растений, собранных на территории РФ, в том числе в 66 образцах картофеля из Московской, Новосибирской, Оренбургской и Самарской областей, Краснодарского края и Республики Татарстан. Среди культурных растений, инфицированных фитоплазмой группы 16SrIII, были также земляника ананасная, боб садовый, перец стручковый, смородина черная и малина [39]. К числу инфицированных декоративных культур относят петунию, бархатцы прямостоячие, ипомею пурпурную, рудбекию рассеченную, астильбу Тунберга. Остальные растения принадлежали к дикой флоре (таблица, рисунок).

Таблица – Растения, инфицированные фитоплазмой, принадлежащей к группе X-болезни (16SrIII) в России (2006–2020 гг.)

№	Вид растения	Симптом	Место сбора (область, край, республика)	Год сбора, количество инфицированных образцов*
1	2	3	4	5
Ariaceae Lindl. – Зонтичные (1 вид)				
1	<i>Aegopodium podagraria</i> L. – Сныть обыкновенная	карликовость, хлороз, антоциан и морщинистость листьев	Московская	2010, 2015 – 1
Asteraceae Bercht. & J. Presl. – Астровые (10 видов) 39 образцов				
2	<i>Artemisia dracuncululus</i> L. – Полынь эстрагон	укорочение междоузлий, измельчение и пожелтение листьев	Московская	2009 – 1
3	<i>Aster amellus</i> L. – Астра ромашковая	пожелтение листьев	Вологодская	2009 – 1
4	<i>Cichorium intybus</i> L. – Цикорий обыкновенный	пролиферация соцветий, филлодии	Самарская	2008 – 2
5	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. – Бодяк полевой	карликовость, осветление листьев, измельчение бутонов, виресценция и пролиферация соцветий	Московская	2008 – 1, 2010 – 2, 2012 – 2, 2014 – 1, 2015 – 9, 2016 – 1, 2017 – 1. Всего – 17.
6	<i>Matricaria chamomilla</i> L. – Ромашка лекарственная	укороченные пазушные побеги, нитевидные листья	Московская	2015 – 1
7	<i>Rudbeckia laciniata</i> L. – Рудбекия рассеченная	хлороз, карликовость	Московская	2012, 2017 – 1
8	<i>Sonchus arvensis</i> L. – Осот полевой	антоциановая окраска листьев	Московская	2015 – 1
9	<i>Tagetes erecta</i> L. – Бархатцы прямостоячие	карликовость, измельчение, хлороз и антоциановая окраска нижних листьев, филлодия соцветий	Московская	2012 – 1
10	<i>Tanacetum vulgare</i> L. – Пижма обыкновенная	карликовость, хлороз и измельчение листьев, недоразвитость соцветий	Московская	2009, 2012 – 1
11	<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Webbex F.H. Wigg – Одуванчик лекарственный	карликовость, измельчение и хлороз листьев. антоциановая окраска, виресценция и филлодия цветков	Московская, Самарская, Рязанская, Вологодская, Ярославская	2008 – 1, 2009 – 2, 2010 – 3, 2012 – 4, 2015 – 5. Всего – 11
Brassicaceae Burnett – Капустные (1 вид)				
12	<i>Barbarea vulgaris</i> W.T. W.T. Aiton typus – Сурепка обыкновенная	стекловидное видоизменение стебля	Московская	2012 – 1
Vixaceae Dumort. – Самшитовые (1 вид)				
13	<i>Vixus sempervirens</i> L. – Самшит вечнозелёный	побеление верхних листьев	Республика Крым	2012 – 1
Caryophyllaceae Juss. – Гвоздичные (2 вида)				
14	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. – Звездчатка средняя	карликовость, хлороз и измельчение листьев	Московская	2009 – 1
15	<i>Saponaria officinalis</i> L. – Мыльнянка лекарственная	скученность соцветий	Вологодская	2009 – 1

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Convolvulaceae Juss. – Вьюнковые (1 вид)				
16	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth – Ипомея пурпурная	карликовость, измельчение, хлороз и гофрированность листьев, отсутствие цветения	Волгоградская	2009 – 1
Fabaceae Lindl. – Бобовые (12 видов) 55 образцов				
17	<i>Lotus corniculatus</i> L. – Лядвенец рогатый	карликовость, укорочение междуузлий, мелколистность, отсутствие цветков	Архангельская	2009 – 2
18	<i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl. – Люпин многолистный	краевое покраснение листьев	Московская	2010 – 1
19	<i>Medicago lupulina</i> L. – Люцерна хмелевидная	карликовость, желтолистность	Вологодская	2009 – 1
20	<i>Medicago sativa</i> L. – Люцерна посевная	карликовость, пролиферация побегов, измельчение, антоциан и хлороз листьев	Самарская	2012 – 1
21	<i>Melilotus albus</i> Medik. – Донник белый	карликовость, мелколистность, изреженность соцветия, позеленение цветков	Московская, Вологодская	2013 – 2
22	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam. – Донник лекарственный	укороченные междуузлий, измельчение и краевой хлороз листьев	Московская	2009 – 2
23	<i>Trifolium hybridum</i> L. – Клевер гибридный (розовый)	филлодия, карликовость, краевое покраснение листьев	Московская, Вологодская	2009 – 15, 2010 – 3, 2012 – 4, 2015 – 2. Всего – 24
24	<i>Trifolium medium</i> L. – Клевер средний	Филлодия, краевое покраснение листьев	Московская, Вологодская	2009, 2010 – 1
25	<i>Trifolium pratense</i> L. – Клевер луговой	бордовое окрашивание края листьев, измельчение соцветий и их пролиферация	Московская Вологодская, Новосибирская	2009 – 4, 2010 – 2, 2012 – 4, 2015 – 3, 2017 – 1. Всего – 14
26	<i>Trifolium repens</i> L. – Клевер ползучий	карликовость, измельчение и краевое покраснение листьев. Недоразвитость и филлодии соцветий	Московская область	2009 – 4
27	<i>Vicia faba</i> L. – Боб садовый	измельчение соцветий	Вологодская	2009 – 1
28	<i>Vicia villosa</i> Roth. – Горошек волосистый	карликовость, хлороз и измельчение листьев	Московская	2009 – 1
Grossulariaceae DC. – Крыжовниковые (1 вид)				
29	<i>Ribes nigrum</i> L. – Смородина чёрная	нетипичное боковое ветвление у саженцев первого года.	Москва, ГБС	2018 – 1
Lamiaceae Martinov – Яснотковые (1 вид)				
30	<i>Thymus vulgaris</i> L. – Тимьян обыкновенный	Пролиферация цветков	Вологодская	2009 – 1
Malvaceae Juss. – Мальвовые (2 вида)				
31	<i>Malva pusilla</i> Sm. – Мальва приземистая	мелколистность, хлороз, гофрированность и скручивание листьев, образование пазушных побегов, недоразвитость цветков	Волгоградская	2008 – 1
32	<i>Tilia cordata</i> Mill. – Липа сердцевидная	ведьмина метла, мелколистность, укорочение междуузлий	Самарская, Московская	2013 – 5
Oleaceae Hoffmanns. & Link – Маслиновые (2 вида)				
33	<i>Fraxinus excelsior</i> L. – Ясень обыкновенный	хлороз, мелколистность, скручивание листьев, пендульность побегов	Самарская	2013 – 1
34	<i>F. pennsylvanica</i> Marsh. – Ясень пенсильванский	скручивание листа вдоль жилки	Республика Крым	2012 – 1

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Onagraceae Juss. – Кипрейные (1 вид)				
35	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop. – Кипрей узколистный	карликовость, укорочение междуузлий соцветия, измельчение и покраснение листьев	Московская	2009 – 1
Orobanchaceae Vent – Заразиховые (1 вид)				
36	<i>Rhinanthus minor</i> L. – Погребок малый	скручивание верхних листьев	Вологодская	2012 – 1
Papaveraceae Juss. – Маковые (1 вид)				
37	<i>Eschscholzia californica</i> Cham. – Эшшольция калифорнийская	измельчение, хлороз, слабое покраснение листьев, недоразвитость цветков, пролиферация пазушных побегов	Московская	2011 – 1
Polygonaceae Juss. – Гречишные (1 вид)				
38	<i>Rumex obtusifolius</i> L. – Щавель туполистный	хлороз листьев, укорочение соцветий, недоразвитость цветков	Вологодская	2009 – 1
Ranunculaceae Juss. – Лютиковые (1 вид)				
39	<i>Consolida regalis</i> Gray – Живокость полевая	низкорослость, измельчение и хлороз листьев, измельчение и обесцвечивание цветков	Волгоградская	2009 – 1
Rosaceae Juss. – Розовые (6 видов) 6 образцов				
40	<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rosier – Земляника ананасная	измельчение листьев, недоразвитость и деформированность цветков	Московская	2008 – 1
41	<i>Prunus laurocerasus</i> L. 'Cameliifolia' – Лавровишня камелиевидная	стянутые по жилке листья	Республика Крым	2012 – 1
42	<i>Prunus tenella</i> Batsch – Миндаль степной	кустистость	Самарская	2013 – 1
43	<i>Rubus idaeus</i> L. – Малина обыкновенная	гофрированные листья, сильный хлороз	Самарская	2013 – 1
44	<i>Prunus padus</i> L. – Черёмуха обыкновенная	кустистость, хлороз, розовые цветки	Самарская	2013 – 1
45	<i>Rosa canina</i> L. – Шиповник собачий	измельчение и хлороз листьев	Московская	2015 – 1
Saxifragaceae Juss. – Камнеломковые (1 вид)				
46	<i>Astilbe thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) Miq. – Астильба Тунберга	измельчение и краевой антоциан листьев, недоразвитость соцветия	Вологодская	2009 – 1
Solanaceae Juss. – Пасленовые (5 видов)				
47	<i>Solanum tuberosum</i> L. – Картофель	измельчение, скручивание и краевое покраснение верхних листьев	Московская, Самарская, Новосибирская, Республика Татарстан, Краснодарский край	С 2006 по 2020 гг. всего 66 образцов
48	<i>S. gibberulosum</i> Juz. et Buk (№ ВИР-92 К-27-39)	тонкие стебли, упрощение листа, слабое антоцианирование и скручивание верхних листьев	Самарская	2013 – 1
49	<i>S. chacoense</i> f. <i>sp. boergerii</i> Bitter. (№ ВИР-К-3060 D-64)	увеличение количества побегов, упрощение листьев	Самарская	2013 – 1
50	<i>Capsicum annuum</i> L. – Перец стручковый	скручивание верхних листьев, бугристость и неравномерное окрашивание плодов	Московская	2012 – 1
51	<i>Petunia</i> × <i>hybrida</i> Hort. ex E. Vilm. (= <i>Petunia axillaris</i> × <i>Petunia integrifolia</i>) – Петунья гибридная	карликовость, измельчение и хлороз листьев, антоциан жилок	Московская	2012 – 1

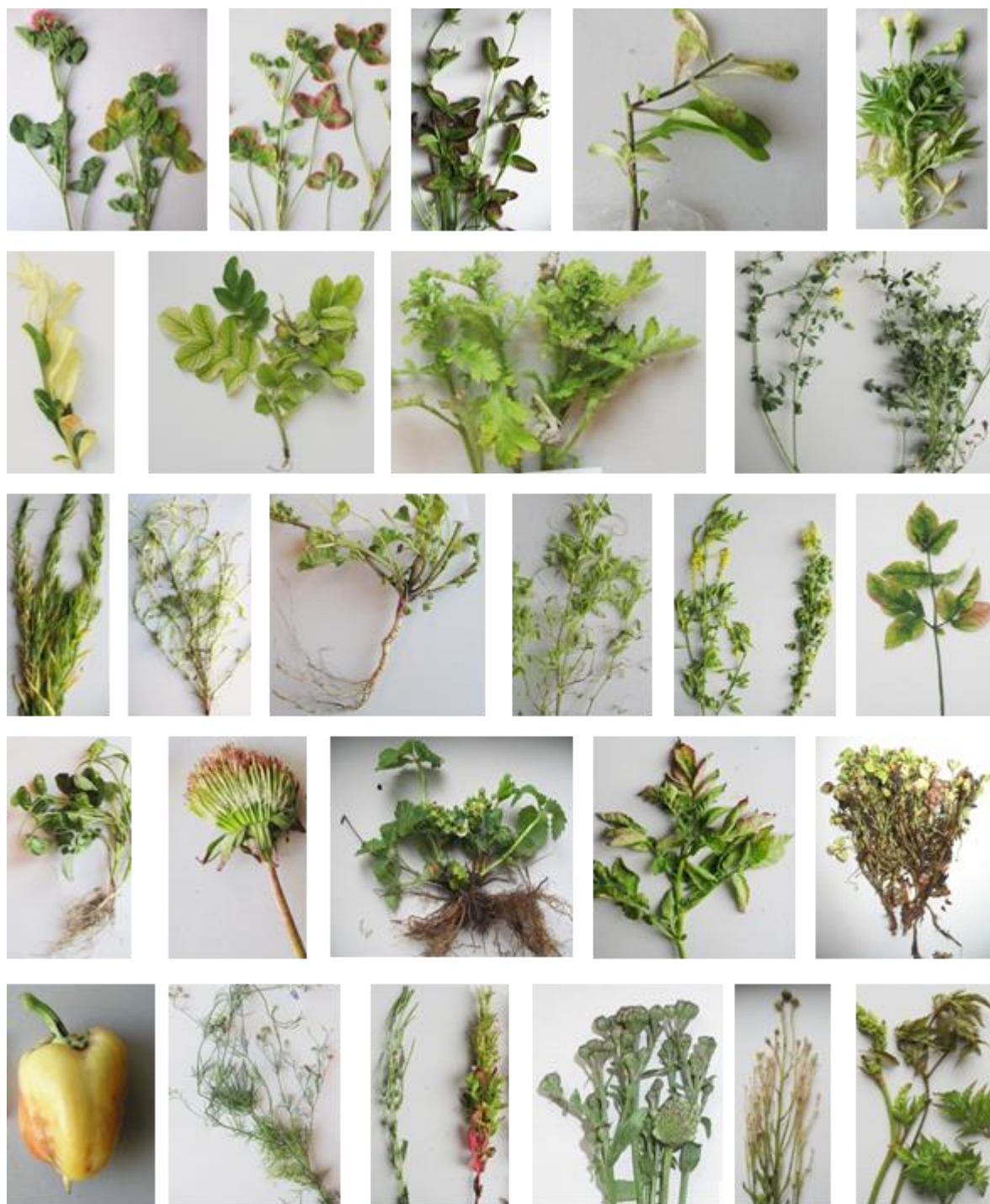


Рисунок – Симптомы инфицированности некоторых видов растений фитоплазмой, принадлежащей к группе 16SrIII

Примечания: Слева направо первый ряд: клевер гибридный, клевер ползучий, клевер луговой, петунья садовая, бархатцы прямостоячие; второй ряд: самшит вечнозелёный, шиповник собачий, пижма, лядвенец; третий ряд: полынь эстрагон, эшиолюция калифорнийская, мальва приземистая, горошек волосистый, донник лекарственный, сныть; четвертый ряд: ипомея пурпурная, одуванчик лекарственный, земляника ананасная, картофель, люцерна посевная; пятый ряд: перец стручковый, живокость полевая, кипрей узколистный, бодяк полевой, Астильба Тунберга. Фото выполнены Н. В. Гирсовой и Т.Б. Кастальевой в 2008–2017 гг.

За все годы наблюдений, растения, инфицированные фитоплазмой группы 16SrIII, представлены 51 видом из 19 семейств (см. таблицу). Они на 88 % состояли из образцов тридцати трех видов, принадлежащих к семействам астровые, бобовые, розовые и пасленовые (170 образцов). Остальные 12 % – растения 18-ти видов из 15-ти семейств: вьюнковые, гвоздичные, гречишные, заразиховые, зонтичные, камнеломковые, капустные, кипрейные, крыжовниковые, лютиковые, маковые, мальвовые, маслиновые, самшитовые и яснотковые, у которых выявлено один-два вида, инфицированных фитоплазмой. Симптомы некоторых видов растений представлены на рисунке.

Среди 51 вида инфицированных растений 34 (66,7 %) являются многолетними. Однолетники представлены культурными (боб садовый, картофель и перец) и сорными видами (живокость полевая, звездчатка средняя, мальва приземистая, погребок малый и сурепка обыкновенная) [40]. Многолетние растения в течение своей жизни имеют больше возможностей быть инфицированными и накапливают более высокую концентрацию патогена, что в конечном итоге приводит к элиминированию части растений и изреженности посевов с увеличением их возраста. Однолетние растения реже проявляют признаки заболевания фитоплазмой, что не исключает возникновения эпифитотийных ситуаций, связанных с массовым размножением переносчиков и заражением однолетних видов в начальные периоды вегетации.

Больше всего инфицированных образцов (70) выявлено в семействе пасленовых, из которых все, за исключением четырех, относились к виду *Solanum tuberosum*. В большой степени это объясняется тем, что в период 2006–2013 гг. шла работа над проектом Международного научно-технического центра, одним из направлений которого было изучение фитоплазмозов картофеля.

При исследовании фитоплазмозов картофеля в 2006–2012 гг. фитоплазма 16SrIII выявлена в растениях из пяти регионов: Поволжского (Астраханская, Самарская область, Республика Татарстан), Северо-Кавказского (Краснодарский и Ставропольский края), Уральского (Оренбургская область), Центрального (Московская, Тульская, Рязанская, Ярославская области), Западно-Сибирского (Новосибирская область). Следует признать, что количество образцов, собранных в разных регионах было разным. Более 60 % приходилось на Центральный экономический район, 20 % составляли образцы из Поволжского района и 10 % – из Северо-Кавказского. Доля образцов из Уральского и Западно-Сибирского районов была на уровне 3 % и 2 % соответственно. Образцы из прочих районов, в которых фитоплазма группы 16SrIII не обнаружена, составили все вместе около 3 %.

Большая часть инфицированных фитоплазмой группы 16SrIII образцов картофеля выявлена в 2008 г. – 23 или 40,4 % от числа всех в тот год инфицированных фитоплазмами образцов картофеля. В 2009 и 2010 гг. выявлено по 14 образцов, что составляло в том и другом случае примерно треть всех растений картофеля, инфицированных фитоплазмами. В 2012 г. на долю растений картофеля, инфицированных фитоплазмой группы 16SrIII, приходилось 14,8 %. В целом за семь лет четверть (25,5 %) всех инфицированных фитоплазмами образцов картофеля были поражены фитоплазмой группы 16SrIII [41]. Однако доля образцов картофеля, инфицированных фитоплазмой 16SrIII в Центральном экономическом районе, была неизменно выше, чем их доля в более южных районах (Северный Кавказ, Поволжье, Южный Урал), и составляла: в 2008 г. – 56 %, в 2009 – 85,7 %, в 2010 – 92,9 %, в 2012 г. – 76,9 %. В последующие годы (2013–2020 гг.) обнаружено всего 13 инфицированных фитоплазмами образцов картофеля, среди которых не было ни одной, принадлежавшей к группе 16SrIII.

На других пасленовых фитоплазма группы 16SrIII обнаружена в двух образцах дикого картофеля *S. gibberulosum* Juz. et Buk. и *S. chacoense* f. sp. *boergerii* Bitter (из

коллекции ВИР), перце стручковом (*Capsicum annuum* L.), а также в декоративном растении петунии гибридной, или петунии садовой (*Petunia* × *hybrida* Hort. ex E. Vilm. = *Petunia axillaris* × *Petunia integrifolia*) (см. рисунок).

Наибольшее разнообразие видов (12) и значительное количество инфицированных экземпляров (55) обнаружено у растений семейства бобовых [42]. Фитоплазма группы 16rIII выявлена в пяти видах клевера: *Trifolium hybridum* L. (клевер гибридный), *T. pratense* L. (клевер луговой), *T. repens* L. (клевер ползучий), *T. medium* L. (клевер средний), а также в других многолетних травах: *Melilotus albus* Medik. (донник белый), *Melilotus officinalis* (L.) Lam. (донник лекарственный), *Lupinus polyphyllus* Lindl. (люпин многолистный), *Medicago sativa* L. (люцерна посевная), *Medicago lupulina* L. (люцерна хмелевидная), *Lotus corniculatus* L. (лядвенец рогатый), и в однолетнике *Vicia villosa* Roth (горошек волосистый). Чаще других были подвержены инфицированию растения клевера гибридного и лугового.

Для фитоплазмозов бобовых характерны карликовость, повышенная кустистость, мелколистность, обесцвечивание соцветий. Характерным для клеверов (иногда и картофеля) являлся симптом, нашедший отражение в названии болезни – «краевое пожелтение». Хотя это не всегда могло быть именно пожелтение, но и покраснение или образование коричневой или цвета бордо окраски по краю листовой пластинки (см. рисунок).

Чуть меньшим разнообразием (10 видов) и количеством инфицированных фитоплазмой группы 16SrIII образцов (39) отличались растения семейства Asteraceae, два вида из которых – *Cirsium arvense* (L.) Scop. (бодяк полевой) и *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F.H. Wigg (одуванчик лекарственный) – в несколько раз превышали остальные по частоте инфицированности.

Среди растений семейства Rosaceae обнаружено всего шесть образцов, инфицированных фитоплазмой группы 16SrIII, и все они принадлежали к разным видам. Фитоплазма группы 16SrIII обнаружена в землянике ананасной (*Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rosier), лавровишне лекарственной камелиевидной (*Prunus laurocerasus* L. ‘Cameliifolia’), малине обыкновенной (*Rubus idaeus* L.), миндале степном (*Prunus tenella* Batsch) и черёмухе обыкновенной (*Prunus padus* L.) В некоторых регионах эти фитоплазмозы на промышленных плантациях ягодных культур могут иметь широкое распространение и высокую вредоносность [43].

Из других ягодных, фитоплазма 16SrIII была выявлена в Московской области на смородине чёрной (*Ribes nigrum* L.). Признаки фитоплазменного заражения смородины чёрной – мелколистность, изменение формы листовой пластинки в сторону ее упрощения, хлороз и антоциановая окраска, видоизменение цветка, повышенная кустистость, усыхание – распространены повсеместно. Особенно вредоносны фитоплазмозы смородины для степных регионов, они приводят к ослаблению растений, заражению сопутствующей грибной инфекцией и гибели до 90 % посадок [44].

Фитоплазма X-болезни может иметь вредоносное значение и для ценных видов древесных растений РФ [45, 46]. 16SrIII фитоплазма была выявлена в липе сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.) из Самарской и Московской областей, в ясене обыкновенном (*Fraxinus excelsior* L.) из Самарской области и ясене пенсильванском ланцетном (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh. var. *lanceolata* (Borkh.) Sarg.) из Крыма, а также в декоративном кустарнике самшите вечнозелёном (*Buxus sempervirens* L.) из Крыма. В Среднем Поволжье признаки фитоплазменного поражения ясеня обыкновенного, такие как повышенная кустистость, отставание роста, усыхание отдельных ветвей и всего дерева встречались у 100 % старовозрастных деревьев.

В 2009 г. с помощью виртуального ПДРФ анализа были вычленены две подгруппы фитоплазм. Фитоплазмой краевого пожелтения клевера, принадлежащей к подгруппе 16SrIII-B (Clover yellowing edge – CYE), были инфицированы образцы картофеля из Московской области и Ставропольского края, щавеля туполистного, эстрагона, донника желтого, мыльнянки, различных видов клевера: гибридного, среднего, лугового и ползучего, а также одуванчика и горошка волосистого. Фитоплазма подгруппы 16SrIII-F была идентифицирована в астильбе и клевере гибридном из Новосибирской области.

Большинство фитоплазм, которыми были инфицированы растения из Вологодской (Северный экономический район) и Московской области (Центральный экономический район), принадлежали к вариантам подгруппы 16SrIII-B, то есть к штаммам, у которых коэффициент сходства со стандартным ПДРФ профилем группы/подгруппы составляет 0,98–0,99 [40].

В 2009 г. был исследован видовой состав насекомых отряда Hemiptera, обитавших на картофельных посадках в Московской области. Из семи инфицированных фитоплазмами цикадок, принадлежавших к пяти видам: *Philaenus spumarius* L., *Lepironia coleoprata* L., *Aphrophora alni* Fallén, *Euscelis incisa* Kirschbaum и *Sonronius binotatus* J. Sahlberg, в двух – *E. incisa* и *S. binotatus* – была идентифицирована фитоплазма группы 16SrIII. Секвенирование нескольких типов клонов ДНК из *Euscelis incisa*, показало их принадлежность к подгруппам 16SrIII-O и 16SrIII-P. В 2010 г. из 235 особей насекомых, проверенных на наличие фитоплазмы, в пяти особях цикадок *Macrosteles laevis* Rib., обитавших на картофеле в Московской области, обнаружена фитоплазма группы 16SrIII. В 2011 и 2012 гг. были протестированы соответственно 145 и 198 цикадок, отловленных в Московской области. Среди них были особи, инфицированные фитоплазмами группы 16SrI и 16SrVI, но не 16SrIII. В 2011 г. из 76 особей шести видов равнокрылых, отловленных в Самарской области и протестированных, фитоплазма группы 16SrIII выявлена в трех цикадках *Psammotettix striatus* L.

Следует напомнить, что в Европе экспериментально подтверждена роль цикадки *Euscelis incisa* (= *Euscelis incisus*) как компетентного переносчика фитоплазмы 16SrIII [31].

Культурные и дикорастущие многолетние бобовые растения, широко возделываемые и используемые для корма животных, являются предпочтительными станциями обитания цикадовых – переносчиков фитоплазм, резерваторами и накопителями фитоплазменной инфекции, что следует учитывать при размещении сельскохозяйственных культур в севооборотах, поскольку многолетние бобовые могут быть источником инфекции и долговременными станциями обитания векторов, например, для пасленовых и ягодных культур.

Для разработки научно обоснованных мероприятий борьбы с фитоплазмозами и предупреждения возникновения эпифитотийной ситуации в каждой конкретной географической зоне необходимо своевременно, с использованием молекулярно-генетических методов, контролировать появление источников инфицирования, каковыми могут быть сорные растения-резерваторы фитоплазм, инфицированный посадочный материал и наличие насекомых – потенциальных переносчиков инфекции.

Выводы

Фитоплазма группы X-болезни (16SrIII) обнаружена у 51 вида сельскохозяйственных и дикорастущих видов растений из 19 семейств. Эти показатели превышают показатели ряда европейских стран, вместе взятых (Англия, Германия, Италия, Литва, Польша, Сербия и Чехия). В этих странах к настоящему времени фитоплазма выявлена в 20 видах из 9 семейств, что меньше, чем в странах

Северной и Южной Америки (США, Мексика, Бразилия, Аргентина и др.), где она отличается необычайным обилием разнообразных подгрупп. В России фитоплазма группы X-болезни поражает не меньшее число видов растений, чем фитоплазма группы столбура, относящаяся к группе 16SrXII, которая (как было показано нами ранее) также была обнаружена у 51 вида растений из 21 семейства [47]. В отличие от столбура, заболевания, характерного для юга России, инфицирование сельскохозяйственных культур, таких как картофель и бобовые, фитоплазмой подгруппы 16SrIII-B – краевого пожелтения клевера (Clover yellowing edge – CYE) – наиболее часто встречалось в Центральном, Северном экономических районов и Среднем Поволжье. Фитоплазма группы 16SrIII обнаружена в цикадовых четырех видов: *Euscelis incisa*, *Macrostelles laevis*, *Psammotettix striatus* и *Sonronius binotatus*, которые могут быть переносчиками этой фитоплазмы. Виртуальный ПДРФ (RFLP) секвенированного фрагмента ДНК фитоплазмы *Euscelis incisa* показал ее принадлежность к подгруппам 16SrIII-O и 16SrIII-P. Высокая частота встречаемости инфицированных фитоплазмой 16SrIII растений одуванчика (*Taraxacum officinale*) дает основание предполагать, что, кроме бобовых, кормовым растением цикадок, в частности *Euscelis incisa*, может быть и одуванчик.

Авторы выражают благодарность к.б.н. К. А. Можяевой и к.б.н. Ю. И. Мешкову, принимавшим участие в данной исследовательской работе в период 2006–2015 гг. и коллегам проекта МНТЦ №3468 из США И.М. Ли и К. Ботнер-Паркер.

Литература

1. Mycoplasmas of plants and insects // Ed. by Razin S., Herrmann R. London, United Kingdom: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002. P. 91–115. DOI: 10.1007/b113360.
2. Bertaccini A. Phytoplasmas: diversity, taxonomy, and epidemiology // *Frontiers in Bioscience*. 2007. Vol. 12. P. 673–689. DOI: 10.2741/2092.
3. Hogenhout S., Oshima K., Ammar E., Kakizawa S., Kingdom H.N., Namba S. Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects // *Molecular Plant Pathology*. 2008. Vol. 9(4). P. 403–423. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x
4. Namba S. Molecular and biological properties of phytoplasmas // *Proceedings of the Japan Academy. Series B “Physical and Biological Sciences”*. 2019. Vol. 95(7). P. 401–418. DOI: 10.2183/pjab.95.028.
5. Bertaccini A. The phytoplasma classification between ‘Candidatus species’ provisional status and ribosomal grouping system // *Phytopathogenic Mollicutes*. 2019. Vol. 9(1). P. 1–2. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00001.X.
6. Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria – I // Ed. by Rao G. P., Fiore N., Bertaccini A., Liefting. L. W. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. P. 4–13. DOI: 10.1007/978-981-13-0119-3.
7. Peach X-disease phytoplasma Data Sheets on Quarantine Pests Prepared by CAB International and EPPO for the EU under Contract 90/39900. 5 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://gd.eppo.int/doc/188_datasheet_PHYPPNPdf (дата обращения 23.10.2021).
8. Marcone C. Current status of phytoplasma disease of peach // *Acta Horticulturae*. 2015. Vol. 1084. P. 569–578. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1084.77.
9. Harper S., Northfield T., Nottingham L., DuPont T. X-disease phytoplasma (Western X) // WSU comprehensive tree fruit site. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://treefruit.wsu.edu/crop-protection/disease-management/western-x/> (дата обращения 23.10.2021).
10. Zhao Y., Wei W., Lee I.-M., Shao J., Suo X., Davis R.E. Construction of an interactive online phytoplasma classification tool, iPhyClassifier, and its application in analysis of the peach X-disease phytoplasma group (16SrIII) // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2009. Vol. 59. P. 2582–2593. DOI: 10.1099/ijs.0.010249-0.
11. Lee I.-M., Bottner-Parker K. D., Zhao Y., Davis R. E., Harrison N. Phylogenetic analysis and delineation of phytoplasmas based on SecY gene sequences // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2010. Vol. 60(12). P. 2887–2897. DOI: 10.1099/ijs.0.019695-0.
12. Davis R. E., Zhao Y., Dally E. L., Jomantiene R., Lee I.-M., Wei W., Kitajima E. W. ‘Candidatus Phytoplasma sudamericanum’, a novel taxon, and strain PassWB-Br4, a new subgroup 16SrIII-V phytoplasma, from diseased passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2012. Vol. 62. P. 984–989. DOI: 10.1099/ijs.0.033423-0.

13. Amaral Mello A. P., Eckstein B., Flores D., Kreyci P. F., Bedendo I. P. Identification by computer-simulated RFLP of phytoplasmas associated with eggplant giant calyx representative of two subgroups, a lineage of 16SrIII-J and the new subgroup 16SrIII-U // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2011. Vol. 61. P. 1454–1461. DOI: 10.1099/ijss.0.019141-0.
14. Eckstein B., Barbosa J. C., Kreyci P. F., Canale M. C., Brunelli K. R., Bedendo I. P. Broccoli stunt, a new disease in broccoli plants associated with three distinct phytoplasma groups in Brazil // *J. Phytopathol.* 2013. Vol. 161(6). P. 442–444. DOI: 10.1111/jph.12087.
15. Galdeano E., Guzman F. A., Fernandez F., Conci L. R. Genetic diversity of 16SrIII group phytoplasmas in Argentina. Predominance of sub-groups 16SrIII-J and B and two new subgroups 16SrIII-W and X // *Eur. J. Plant Pathol.* 2013. Vol. 137. P. 753–764. DOI: 10.1007/s10658-013-0285-5.
16. Lee I.-M., Polashock J., Bottner-Parker K. D., Bagadia P. G., Rodriguez-Saona C., Zhao Y., Davis R. E. New subgroup 16SrIII-Y phytoplasmas associated with false-blossom diseased cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) plants and with known and potential insect vectors in New Jersey // *European Journal of Plant Pathology.* 2014. Vol. 139. P. 393–400. DOI: 10.1007/s10658-014-0396-7.
17. Perez-Lopez E., Luna-Rodriguez M., Olivier C. Y., Dumonceaux T. J. The underestimated diversity of phytoplasmas in Latin America // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 2016. Vol. 66. P. 492–513. DOI: 10.1099/ijsem.0.000726.
18. Fernandez F. D., Meneguzzi N. G., Conci L. R. Identification of three novel subgroups within the X-disease group phytoplasma associated with strawberry redness disease // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2017. Vol. 67. P. 753–758. DOI: 10.1099/ijsem.0.001636.
19. Jomantiene R., Davis R. E., Valiunas D., Alminaitė A. New group 16SrIII phytoplasma lineages in Lithuania exhibit rRNA interoperon sequence heterogeneity // *European Journal of Plant Pathology.* 2002. Vol. 108(6). P. 507–517. DOI: 10.1023/A:1019982418063.
20. Ivanauskas A., Valiunas D., Jomantiene R., Staniulis J., Alma A., Picciau L., Davis R. E. First report of potential phytoplasma vectors: *Euscelis incisus* and *Macrosteles sexnotatus* in Lithuania // *Bulletin of Insectology.* 2011. Vol. 64. P. 131–132. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-S131-S132inavauskas.pdf> (дата обращения 23.10.2021).
21. Ivanauskas A., Valiunas D., Jomantiene R., Picciau L., Davis R. E. Possible insect vectors of ‘*Candidatus Phytoplasma asteris*’ and ‘*Ca. Phytoplasma pruni*’-related strains in Lithuania // *Zemdirbyste-Agriculture.* 2014. Vol. 101. No. 3. P. 313–320. DOI: 10.13080/z-a.2014.101.040.
22. Davis R. E., Zhao Y., Dally E. L., Lee I.-M., Jomantiene R., Douglas S. M. ‘*Candidatus Phytoplasma pruni*’, a novel taxon associated with X-disease of stone fruits, *Prunus spp.*: multilocus characterization based on 16S rRNA, secY, and ribosomal protein genes // *Int. J. of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 2013. Vol. 63. P. 766–776. DOI: 10.1099/ijss.0.041202-0.
23. González F., Zamorano A., Pino A. M., Paltrinieri S., Bertaccini A., Fiore N. Identification of phytoplasma belonging to X-disease group in cherry in Chile // *Bulletin of Insectology.* 2011. Vol. 64. P. 235–236. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-S235-S236gonzalez.pdf> (дата обращения 23.10.2021).
24. Harrison N. A., Boa E., Carpio M. L. Characterization of phytoplasmas detected in chinaberry trees with symptoms of leaf yellowing and decline in Bolivia // *Plant Pathology.* 2003. Vol. 52(2). P. 147–157. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2003.00818.x.
25. Fernández F., Guzmán F., Curzel V., Bejarano N., Conci L. Detection and molecular characterization of a phytoplasma affecting *Prunus persica* L. in Jujuy, Argentina // *European Journal of Plant Pathology.* 2013. Vol. 135. P. 627–631. DOI: 10.1007/s10658-012-0109-z.
26. Saccardo F., Martini M., Palmano S., Ermacora P., Scortichini M., Loi N., Firrao G. Genome drafts of four phytoplasma strains of the ribosomal group 16SrIII // *Microbiology.* 2012. Vol. 15. P. 2805–2814. DOI: 10.1099/mic.0.061432.
27. Lee I.-M., Shao J., Bottner-Parker K.D., Gundersen-Rindal D.E., Zhao Y., Davis R.E. Draft genome sequence of ‘*Candidatus Phytoplasma pruni*’ strain CX, a plant-pathogenic bacterium // *Genome Announc.* 2015. Vol. 3(5). Art. No. e01117-15. DOI: 10.1128/genomeA.01117-15.
28. Zamorano A., Fiore N. Draft genome sequence of 16SrIII-J phytoplasma, a plant pathogenic bacterium with a broad spectrum of hosts // *Genome Announc.* 2016. No. 4. Art. No. e00602-16. DOI:10.1128/genomeA.00602-16.
29. Fernández F. D., Zübert C., Huettel B., Kube M., Conci L. R. Draft Genome Sequence of “*Candidatus Phytoplasma pruni*” (X-disease group, subgroup 16SrIII-B) strain ChTDIII from Argentina // *Microbiol Resour Announc.* 2020. Vol. 17. No. 9(38). Art. No. e00792-20. DOI:10.1128/MRA.00792-20.
30. Lenzi P., Stoepler T. M., McHenry D.J., Davis R.E., Wolf T.K. *Jikradia olitoria* ([Hemiptera]:[Cicadellidae]) transmits the sequevar NAGYIIIβ phytoplasma strain associated with North American grapevine yellows in artificial feeding Assays // *J. Insect. Sci.* 2019. Vol. 19(1). P. 1. DOI: 10.1093/jisesa/iey124.

31. Kreyci P. F., Eckstein B., Lopes J. R. S., Ferreira J., Bedendo I. P. Transmission of “*Candidatus Phytoplasma pruni*”-related strain associated with broccoli stunt by four species of leafhoppers // J. Phytopathol. 2018. Vol. 166. P. 502–505. DOI: 10.1111/jph.12710.
32. Medina-Hernández D., Vargas-Salinas M., Holguín-Peña R. J. Abundance of the beet leafhopper, *Circulifer tenellus*, associated with 16SrIII-phytoplasmas in squash at Baja California Sur, Mexico // Southwestern Entomologist. 2019. Vol. 44(2). P. 373–381. DOI:10.3958/059.044.0202.
33. Jakovljević M., Jović J., Mitrović M., Krstić O., Kosovac A., Toševski I., Cvrković T. *Euscelis incisus* (Cicadellidae, Deltocephalinae), a natural vector of 16SrIII-B phytoplasma causing multiple inflorescence disease of *Cirsium arvense* // Annals of Applied Biology. 2015. Vol. 167(3). P. 406–419. DOI: 10.1111/aab.12236.
34. Maixner M., Ahrens U., Seemüller E. Detection of the German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) MLO in grapevine, alternative hosts and a vector by a specific PCR procedure // Eur. J. Plant Pathol. 1995. Vol. 101. 1995. P. 241–250 DOI: 10.1007/BF01874780.
35. Green M. J., Thompson D. A., Mackenzie D. J. Easy and efficient DNA extraction from woody plants for the detection of phytoplasmas by polymerase chain reaction // Plant Disease. 1999. Vol. 83. P. 482–485. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.5.482.
36. Tanne E., Boudon-Padieu E., Clair D., Davidovich M., Melamed S., Meir K. Detection of Phytoplasma by polymerase chain reaction of insect feeding medium and its use in determining vectoring ability // Phytopathology. 2001. Vol. 91. P.741–746. DOI: 10.1094/PHYTO.2001.91.8.741.
37. Lee I.-M., Gundersen-Rindal D. E., Davis R. E., Bartoszyk I. M. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences // Int. J. Syst. Bacteriol. 1998. Vol. 48. P. 1153–1169. DOI: 10.1099/00207713-48-4-1153.
38. Wei W., Davis R. E., Lee I.-M., Zhao Y. Computer-simulated RFLP analysis of 16S rRNA genes: identification of ten new phytoplasma groups // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2007. Vol. 57. P. 1855–1867. DOI: 10.1099/ijs.0.65000-0.
39. Кастальева Т. Б., Богоутдинов Д. З., Боттнер-Паркер К. Д., Гирсова Н. В., Ли И.-М. О разнообразии фитоплазмозов сельскохозяйственных культур в России: патогены и их переносчики // Сельскохозяйственная биология. 2016. Том 51. № 3. С. 367–375. DOI: 10.15389/agrobiol.2016.3.367rus.
40. Гирсова Н. В., Можаяева К. А., Кастальева Т. Б., Богоутдинов Д. З. Фитоплазмозы сорных и дикорастущих травянистых растений // Защита и карантин растений. 2015. № 9. С.34–39.
41. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Lee I.-M. Diverse phytoplasmas associated with potato stolbur and other related potato diseases in Russia // Eur. J. of Plant Pathology. 2016. Vol. 145. P. 139–153. DOI 10.1007/s10658-015-0824-3.
42. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Lee I.-M. Diverse phytoplasmas associated with leguminous crops in Russia // Eur. J. of Plant Pathology. 2017. Vol. 149(3). P. 599–610. DOI: 10.1007/s10658-017-1209-6.
43. Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. Фитоплазменные болезни плодовых и ягодных культур в Центральном и Поволжском регионах России // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 59. С. 212–218. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-212-218.
44. Немцева Н. В., Горбунова О. С., Савин Е. З., Маленкова О. В., Богоутдинов Д. З. К вопросу об увядании чёрной смородины // Вестник Оренбургского государственного университета, 2016, № 5 (193). С. 65–69. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-uvyadanii-chyornoj-smorodiny/viewer> (дата обращения 23.10.2021)
45. Гирсова Н. В., Богоутдинов Д. З., Можаяева К. А., Кастальева Т. Б. Фитоплазмозы деревьев кустарников в Поволжье // Известия ТСХА. 2014. С. 36–48.
46. Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. Влияние фитоплазмозов на состояние древесной растительности в России и за рубежом // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике». М.-Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. С. 28–30.
47. Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. Анализ видового состава растений, поражаемых фитоплазмой группы столбура в России // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 26–42.

References

1. Mycoplasmas of plants and insects // Ed. by Razin S., Herrmann R. London, United Kingdom: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002. P. 91–115. DOI: 10.1007/b113360.
2. Bertaccini A. Phytoplasmas: diversity, taxonomy, and epidemiology // Frontiers in Bioscience. 2007. Vol. 12. P. 673–689. DOI: 10.2741/2092.

3. Hogenhout S., Oshima K., Ammar E., Kakizawa S., Kingdom H.N., Namba S. Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects // *Molecular Plant Pathology*. 2008. Vol. 9(4). P. 403–423. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x
4. Namba S. Molecular and biological properties of phytoplasmas // *Proceedings of the Japan Academy. Series B “Physical and Biological Sciences”*. 2019. Vol. 95(7). P. 401–418. DOI: 10.2183/pjab.95.028.
5. Bertaccini A. The phytoplasma classification between ‘Candidatus species’ provisional status and ribosomal grouping system // *Phytopathogenic Mollicutes*. 2019. Vol. 9(1). P. 1–2. DOI: 10.5958/2249-4677.2019.00001.X.
6. *Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria – I* // Ed. by Rao G. P., Fiore N., Bertaccini A., Liefting. L. W. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. P. 4–13. DOI: 10.1007/978-981-13-0119-3.
7. Peach X-disease phytoplasma Data Sheets on Quarantine Pests Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/39900. 5 p. [Electronic resource]. Access point: https://gd.eppo.int/doc/188_datasheet_PHYPPNPDF (reference’s date 23.10.2021).
8. Marcone C. Current status of phytoplasma disease of peach // *Acta Horticulturae*. 2015. Vol. 1084. P. 569–578. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1084.77.
9. Harper S., Northfield T., Nottingham L., DuPont T. X-disease phytoplasma (Western X) // WSU comprehensive tree fruit site. [Electronic resource]. Access point: <http://treefruit.wsu.edu/crop-protection/disease-management/western-x/> (reference’s date 23.10.2021).
10. Zhao Y., Wei W., Lee I.-M., Shao J., Suo X., Davis R.E. Construction of an interactive online phytoplasma classification tool, iPhyClassifier, and its application in analysis of the peach X-disease phytoplasma group (16SrIII) // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2009. Vol. 59. P. 2582–2593. DOI: 10.1099/ijs.0.010249-0.
11. Lee I.-M., Bottner-Parker K. D., Zhao Y., Davis R. E., Harrison N. Phylogenetic analysis and delineation of phytoplasmas based on SecY gene sequences // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2010. Vol. 60(12). P. 2887–2897. DOI: 10.1099/ijs.0.019695-0.
12. Davis R. E., Zhao Y., Dally E. L., Jomantiene R., Lee I.-M., Wei W., Kitajima E. W. ‘Candidatus Phytoplasma sudamericanum’, a novel taxon, and strain PassWB-Br4, a new subgroup 16SrIII-V phytoplasma, from diseased passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2012. Vol. 62. P. 984–989. DOI: 10.1099/ijs.0.033423-0.
13. Amaral Mello A. P., Eckstein B., Flores D., Kreyci P. F., Bedendo I. P. Identification by computer-simulated RFLP of phytoplasmas associated with eggplant giant calyx representative of two subgroups, a lineage of 16SrIII-J and the new subgroup 16SrIII-U // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2011. Vol. 61. P. 1454–1461. DOI: 10.1099/ijs.0.019141-0.
14. Eckstein B., Barbosa J. C., Kreyci P. F., Canale M. C., Brunelli K. R., Bedendo I. P. Broccoli stunt, a new disease in broccoli plants associated with three distinct phytoplasma groups in Brazil // *J. Phytopathol.* 2013. Vol. 161(6). P. 442–444. DOI: 10.1111/jph.12087.
15. Galdeano E., Guzman F. A., Fernandez F., Conci L. R. Genetic diversity of 16SrIII group phytoplasmas in Argentina. Predominance of sub-groups 16SrIII-J and B and two new subgroups 16SrIII-W and X // *Eur. J. Plant Pathol.* 2013. Vol. 137. P.753–764. DOI: 10.1007/s10658-013-0285-5.
16. Lee I.-M., Polashock J., Bottner-Parker K. D., Bagadia P. G., Rodriguez-Saona C., Zhao Y., Davis R. E. New subgroup 16SrIII-Y phytoplasmas associated with false-blossom diseased cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) plants and with known and potential insect vectors in New Jersey // *European Journal of Plant Pathology*. 2014. Vol. 139. P. 393–400. DOI: 10.1007/s10658-014-0396-7.
17. Perez-Lopez E., Luna-Rodriguez M., Olivier C. Y., Dumonceaux T. J. The underestimated diversity of phytoplasmas in Latin America // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2016. Vol. 66. P. 492–513. DOI: 10.1099/ijsem.0.000726.
18. Fernandez F. D., Meneguzzi N. G., Conci L. R. Identification of three novel subgroups within the X-disease group phytoplasma associated with strawberry redness disease // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2017. Vol. 67. P. 753–758. DOI: 10.1099/ijsem.0.001636.
19. Jomantiene R., Davis R. E., Valiunas D., Alminaitė A. New group 16SrIII phytoplasma lineages in Lithuania exhibit rRNA interoperon sequence heterogeneity // *European Journal of Plant Pathology*. 2002. Vol. 108(6). P. 507–517. DOI: 10.1023/A:1019982418063.
20. Ivanauskas A., Valiunas D., Jomantiene R., Staniulis J., Alma A., Picciau L., Davis R. E. First report of potential phytoplasma vectors: *Euscelis incisus* and *Macrosteles sexnotatus* in Lithuania // *Bulletin of Insectology*. 2011. Vol. 64. P. 131–132. [Electronic resource]. Access point: <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-S131-S132inavauskas.pdf> (reference’s date 23.10.2021).
21. Ivanauskas A., Valiunas D., Jomantiene R., Picciau L., Davis R. E. Possible insect vectors of ‘Candidatus Phytoplasma asteris’ and ‘Ca. Phytoplasma pruni’-related strains in Lithuania // *Zemdirbyste-Agriculture*. 2014. Vol. 101. No. 3. P. 313–320. DOI: 10.13080/z-a.2014.101.040.
22. Davis R. E., Zhao Y., Dally E. L., Lee I.-M., Jomantiene R., Douglas. S. M. ‘Candidatus Phytoplasma pruni’, a novel taxon associated with X-disease of stone fruits, *Prunus spp.*: multilocus

characterization based on 16S rRNA, secY, and ribosomal protein genes // Int. J. of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2013. Vol. 63. P. 766–776. DOI: 10.1099/ij.s.0.041202-0.

23. González F., Zamorano A., Pino A. M., Paltrinieri S., Bertaccini A., Fiore N. Identification of phytoplasma belonging to X-disease group in cherry in Chile // Bulletin of Insectology. 2011. Vol. 64. P. 235–236. [Electronic resource]. Access point: <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-S235-S236gonzalez.pdf> (reference's date 23.10.2021).

24. Harrison N. A., Boa E., Carpio M. L. Characterization of phytoplasmas detected in chinaberry trees with symptoms of leaf yellowing and decline in Bolivia // Plant Pathology. 2003. Vol. 52(2). P. 147–157. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2003.00818.x.

25. Fernández F., Guzmán F., Curzel V., Bejarano N., Conci L. Detection and molecular characterization of a phytoplasma affecting *Prunus persica* L. in Jujuy, Argentina // European Journal of Plant Pathology. 2013. Vol. 135. P. 627–631. DOI: 10.1007/s10658-012-0109-z.

26. Saccardo F., Martini M., Palmano S., Ermacora P., Scortichini M., Loi N., Firrao G. Genome drafts of four phytoplasma strains of the ribosomal group 16SrIII // Microbiology. 2012. Vol. 15. P. 2805–2814. DOI: 10.1099/mic.0.061432.

27. Lee I.-M., Shao J., Bottner-Parker K.D., Gundersen-Rindal D.E., Zhao Y., Davis R.E. Draft genome sequence of ‘*Candidatus* Phytoplasma pruni’ strain CX, a plant-pathogenic bacterium // Genome Announc. 2015. Vol. 3(5). Art. No. e01117-15. DOI: 10.1128/genomeA.01117-15.

28. Zamorano A., Fiore N. Draft genome sequence of 16SrIII-J phytoplasma, a plant pathogenic bacterium with a broad spectrum of hosts // Genome Announc. 2016. No. 4. Art. No. e00602-16. DOI:10.1128/genomeA.00602-16.

29. Fernández F. D., Zübert C., Huettel B., Kube M., Conci L. R. Draft Genome Sequence of “*Candidatus* Phytoplasma pruni” (X-disease group, subgroup 16SrIII-B) strain ChTDIII from Argentina // Microbiol Resour Announc. 2020. Vol. 17. No. 9(38). Art. No. e00792-20. DOI:10.1128/MRA.00792-20.

30. Lenzi P., Stoepler T. M., McHenry D.J., Davis R.E., Wolf T.K. *Jikradia olitoria* ([Hemiptera]:[Cicadellidae]) transmits the sequevar NAGYIIIβ phytoplasma strain associated with North American grapevine yellows in artificial feeding Assays // J. Insect. Sci. 2019. Vol. 19(1). P. 1. DOI: 10.1093/jisesa/iey124.

31. Kreyci P. F., Eckstein B., Lopes J. R. S., Ferreira J., Bedendo I. P. Transmission of “*Candidatus* Phytoplasma pruni”-related strain associated with broccoli stunt by four species of leafhoppers // J. Phytopathol. 2018. Vol. 166. P. 502–505. DOI: 10.1111/jph.12710.

32. Medina-Hernández D., Vargas-Salinas M., Holguín-Peña R. J. Abundance of the beet leafhopper, *Circulifer tenellus*, associated with 16SrIII-phytoplasmas in squash at Baja California Sur, Mexico // Southwestern Entomologist. 2019. Vol. 44(2). P. 373–381. DOI:10.3958/059.044.0202.

33. Jakovljević M., Jović J., Mitrović M., Krstić O., Kosovac A., Toševski I., Cvrković T. *Euscelis incisus* (Cicadellidae, Deltocephalinae), a natural vector of 16SrIII-B phytoplasma causing multiple inflorescence disease of *Cirsium arvense* // Annals of Applied Biology. 2015. Vol. 167(3). P. 406–419. DOI: 10.1111/aab.12236.

34. Maixner M., Ahrens U., Seemüller E. Detection of the German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) MLO in grapevine, alternative hosts and a vector by a specific PCR procedure // Eur. J. Plant Pathol. 1995. Vol. 101. 1995. P. 241–250 DOI: 10.1007/BF01874780.

35. Green M. J., Thompson D. A., Mackenzie D. J. Easy and efficient DNA extraction from woody plants for the detection of phytoplasmas by polymerase chain reaction // Plant Disease. 1999. Vol. 83. P. 482–485. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.5.482.

36. Tanne E., Boudon-Padieu E., Clair D., Davidovich M., Melamed S., Meir K. Detection of Phytoplasma by polymerase chain reaction of insect feeding medium and its use in determining vectoring ability // Phytopathology. 2001. Vol. 91. P.741–746. DOI: 10.1094/PHTO.2001.91.8.741.

37. Lee I.-M., Gundersen-Rindal D. E., Davis R. E., Bartoszyk I. M. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences // Int. J. Syst. Bacteriol. 1998. Vol. 48. P. 1153–1169. DOI: 10.1099/00207713-48-4-1153.

38. Wei W., Davis R. E., Lee I.-M., Zhao Y. Computer-simulated RFLP analysis of 16S rRNA genes: identification of ten new phytoplasma groups // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2007. Vol. 57. P. 1855–1867. DOI: 10.1099/ij.s.0.65000-0.

39. Kastal'eva T. B., Bogoutdinov D. Z., Bottner-Parker K. D., Girsova N. V., Lee I.-M. Diverse phytoplasmas associated with diseases in various crops in Russia – pathogens and vectors // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2016. Vol. 51. No. 3. P. 367–375. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.3.367rus.

40. Girsova N. V., Mozhaeva K. A., Kastal'ieva T. B., Bogoutdinov D. Z. Phytoplasma diseases of weeds and wild grasses // Plant protection and quarantine. 2015. No. 9. P. 34–39.

41. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Lee I.-M. Diverse phytoplasmas associated with potato stolbur and other related potato diseases in Russia // *Eur. J. of Plant Pathology*. 2016. Vol. 145. P. 139–153. DOI 10.1007/s10658-015-0824-3.
42. Girsova N. V., Bottner-Parker K. D., Bogoutdinov D. Z., Kastalyeva T. B., Meshkov Y. I., Mozhaeva K. A., Lee I.-M. Diverse phytoplasmas associated with leguminous crops in Russia // *Eur. J. of Plant Pathology*. 2017. Vol. 149(3). P. 599–610. DOI: 10.1007/s10658-017-1209-6.
43. Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastalyeva T. B. Phytoplasmic diseases of fruit and small fruit crops in the Central and Volga regions of Russia// *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2019. Vol. 59. P. 212–218. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-212-218.
44. Nemtseva N.V., Gorbunova O.S., Bogoutdinov D.Z., Savin E.Z., Malenkova O.V. To the question of withering of blackcurrant // *Vestnik of the Orenburg State University*. 2016. No. 5 (193). P. 65–69. [Electronic resource]. Access point: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-uvyadaniy-chyornoy-smorodiny/viewer> (reference's date 23.10.2021)
45. Girsova N. V., Bogoutdinov D. Z., Mozhaeva K. A., Kastalyeva T. B. Phytoplasma diseases of wood and shrub plants in the Volga Region // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2014. Iss. 5. P. 36–48.
46. Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastalyeva T. B. The impact of phytoplasma diseases on the condition of woody vegetation in Russia and abroad // *Proceedings of the Second International Conference "Monitoring and biological control methods of woody plant pests and pathogens: from theory to practice"*. Moscow – Krasnoyarsk: Institute of Forest Northern Branch (NB) of the RAS, 2019. P. 28–30.
47. Bogoutdinov D. Z., Girsova N. V., Kastalyeva T. B. Analysis of the species composition of plants infected with phytoplasma of the stolbur group in Russia // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2020. No. 3 (23). P. 26–42. DOI:10.33952/2542-0720-2020-3-23-26-42.

UDC 632.3

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

**ASSESSMENT OF DIVERSITY OF PLANT SPECIES AFFECTED BY
PHYTOPLASMA OF X-DISEASE (16Sr-III) GROUP IN RUSSIA**

Summary. *Worldwide, there is an increase in the harmfulness of plant diseases transmitted by insects, including phytoplasmas. In Russia, phytoplasma diseases have been studied insufficiently. The aim of the study was to monitor phytoplasma diseases in various economic regions of the Russian Federation and determine the taxonomic affiliation of their pathogens. The task of the study was to identify the species composition of plants affected by phytoplasmas belonging to the 16Sr-III group and their potential vectors. Molecular genetic studies were carried out at the All-Russian Research Institute of Phytopathology (VNIIF) in 2006-2021. Plants with symptoms of phytoplasma infection and leafhoppers collected in the Moscow and Samara regions were the material of the research. The presence of phytoplasma DNA in the samples was determined using sequentially direct and nested PCR with the primer pairs: P1/16S-SR and R16F2n/R16R2, respectively. Phytoplasmas were identified by analyzing restriction fragment length polymorphism (RFLP) after treatment of 1.2 Kb DNA amplicons with restriction endonucleases. In a quarter of the analyzed potato samples and five of the eight surveyed economic regions (Volga, North Caucasian, Ural, Central and West Siberian), phytoplasma of the 16SrIII group was found. Among other solanaceous, phytoplasma of the 16SrIII group was found in pepper and garden petunia, as well as in two species of wild potatoes. In total, the phytoplasma of X-disease was detected in 51 species of plants from 19 families, including Fabaceae (12 species), Asteraceae (10), Rosaceae (6), and Solanaceae (5). In other families, 1–2 plant species infected with this phytoplasma were identified. The phytoplasma of the 16SrIII-B subgroup was most frequently found in plant material. Phytoplasma of the 16SrIII-F subgroup was detected in two plant species: astilbe (*Astilbe thunbergii* (Siebold & Zucc.) Miq.) and hybrid clover (*Trifolium hybridum* L.). In potential vectors (leafhoppers *Euscelis incisa* Kirschbaum, *Sonronius binotatus* Sahlberg, *Macrosteles laevis* Rib. and *Psammotettix striatus* L.), phytoplasma of the 16SrIII group, including the 16SrIII-O and 16SrIII-P subgroups, was found.*

Keywords: *phytoplasma, X-disease, 'Candidatus Phytoplasma pruni', 16SrIII group, insect vectors, PCR, RFLP analysis.*

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

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

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

Bogoutdinov Damir Zabikhullovich, Cand. Sc. (Biol.), researcher, State Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Phytopathology” of Russian Academy of Science; 5-a, Institut Str., village Bolshie Vyazemy, Odintsovo urban district, Moscow region, 143050, Russia; e-mail: bogoutdinov@list.ru.

Girsova Natalya Viktorovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, State Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Phytopathology” of Russian Academy of Science; 5-a, Institut Str., village Bolshie Vyazemy, Odintsovo urban district, Moscow region, 143050, Russia; e-mail: ngirsova@yandex.ru.

Kastalyeva Tatyana Borisovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, State Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Phytopathology” of Russian Academy of Science; 5-a, Institut Str., village Bolshie Vyazemy, Odintsovo urban district, Moscow region, 143050, Russia; e-mail: kastalyeva@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 1.10.2021.

Дата принятия к печати – 05.11.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-40-49

УДК 631.67 (571.13)

Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Михайлов В. В.

ПЛОДОРОДИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

Реферат. Нерациональное орошение черноземных почв может привести к вторичному засолению и другим негативным последствиям. Цель исследований – оценить плодородие и гидрохимический состав длительно орошаемых лугово-черноземных почв лесостепи Западной Сибири на примере СПК «Пушкинский» и ФГУП «Омское», применяющих адаптивную систему орошаемого земледелия. Исследования проводили в 2015–2020 гг. на Пушкинской оросительной системе. Объект исследований – орошаемая лугово-черноземная тяжелосуглинистая почва. Использовали методы маршрутного полевого исследования и лабораторные анализы. Полученные результаты сравнивали с исходными значениями (1978 г.). При длительном орошении и интенсивном сельскохозяйственном использовании показатели плодородия лугово-черноземной почвы не ухудшились. Пахотные горизонты имели нейтральную и близкую к нейтральной реакцию среды (5,8–6,2 ед. рН), содержание гумуса – 5,9–7,2 %. Обеспеченность нитратным азотом находилась на низком и среднем уровне (6,0–14,7 мг/кг) из-за высокого выноса культурами и закономерного отсутствия парового поля в структуре орошаемой пашни. Многолетнее систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений и создание положительного баланса улучшило фосфатный статус почвы (99–177 мг/кг). Содержание обменного калия высокое (144–353 мг/кг) и стабильно во времени, что является особенностью черноземных почв тяжелого гранулометрического состава. Содержание подвижных форм свинца, цинка и кадмия не превышает ориентировочно допустимые концентрации. При анализе катионно-анионного состава водной вытяжки почвенного профиля ФГУП «Омское» выявлено слабое засоление по хлоридному типу в слое 0,6–1,4 м и по сульфатно-хлоридному типу в слое 1,4–1,8 м, что в будущем может привести к вторичному засолению. Поглощающий комплекс лугово-черноземной почвы насыщен основаниями, концентрация натрия минимальная, преобладают катионы кальция и магния. Грунтовые воды умеренно пресные. Среди анионов превалирует HCO_3^- , среди катионов – Mg^{2+} и Ca^{2+} , что говорит о необходимости контроля за уровнем грунтовых вод для поддержания благоприятного экологического состояния почвы.

Ключевые слова: плодородие, орошаемые земли, почвенный поглощающий комплекс, катионно-анионный состав, засоление, Омская область.

Для цитирования: Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Михайлов В. В. Плодородие орошаемых земель в южной лесостепи Омской области // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 40–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-40-49.

For citation: Boiko V. S., Timokhin A. Yu., Mikhailov V. V. Fertility of irrigated lands in the south forest-steppe of the Omsk region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 40–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-40-49.

Введение

Сельскохозяйственное производство Омской области является одним из наиболее развитых в Российской Федерации. По объемам производства продукции сельского хозяйства область входит в десятку крупнейших регионов России. Его эффективность

неразрывно связана с сохранением и воспроизводством плодородия земель [1]. Интенсивная сельскохозяйственная деятельность является одной из причин деградации окружающей среды, в том числе почвы [2–4]. Ряд отечественных и зарубежных фундаментальных работ указывает на приоритетность мониторинга показателей плодородия при оценке устойчивости агроландшафтов и анализе геохимической стабильности почвенного тела в условиях естественных и техногенных преобразований [5–8]. Разнообразие процессов, протекающих в почве и определяющих ее плодородие, складывается в обширный комплекс явлений, а в основе питательного режима лежит химическое превращение минеральных и органических веществ, происходящее при значительном участии микробиологических процессов и осложненное рядом физико-химических явлений [9, 10].

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур и приемы регулирования плодородия почв основаны на структуре посевов и севооборотах, обработке почвы, удобрениях и средствах защиты растений, химических мелиорантах, орошении и осушении, почвозащитных мероприятиях [11–14]. При этом степень воздействия определяется динамикой ряда агрофизических, агрохимических, биологических и экологических показателей, мониторинг которых позволяет определить степень загрязнения среды отходами промышленности, тяжелыми металлами, пестицидами и радионуклидами [15, 16].

В лесостепной зоне Западной Сибири в летний период из-за неравномерного распределения осадков сельскохозяйственные культуры испытывают недостаток почвенной влаги, что негативно влияет на их рост и развитие во время всего периода вегетации [17–19].

Вода – важнейший ресурс, без которого невозможен ни один процесс, происходящий в почве и растениях. Оптимальное количество влаги в почве не только обеспечивает ее плодородие, но и влияет на урожайность возделываемых культур [20–22].

Нерациональная мелиорация при орошении лугово-черноземных и черноземных почв на юге Омской области приводит к вторичному засолению, связанному с подъемом сильноминерализованных грунтовых вод, дегумификации, увеличению доли магния и натрия в почвенно-поглощающем комплексе, изменению рН, что способствует снижению показателей их плодородия [23, 24].

На мелиорируемых почвах нужно использовать пресную воду определенного минерального состава, а для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур применять специально разработанную агротехнологию, включающую почвозащитную обработку почв, оптимизацию их азотного, фосфорного и калийного питания и другие приемы.

Цель исследований – оценить плодородие и гидрохимический состав длительно орошаемых лугово-черноземных почв лесостепи Западной Сибири на примере СПК «Пушкинский» и ФГУП «Омское», применяющих адаптивную систему орошаемого земледелия.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в СПК «Пушкинский» и ФГУП «Омское» в южной лесостепи Омской области, на землях которых расположена Пушкинская оросительная система. Образцы почвы и грунтовой воды отбирали в июле 2015–2020 гг.

Омский район расположен в центральной части Омской области. Рельеф территории характеризуется как слабоволнистая равнина с выраженным микрорельефом, по прииртышскому увалу расчлененная глубокими оврагами с плоскими понижениями. Практически 90 % посевной площади пашни представлено почвами черноземного типа. Лугово-черноземные почвы являются полугидроморфными аналогами черноземов, которые образовались под травянистой растительностью при уровне грунтовых вод 3–6 м и имеют свойства близкие к

черноземам. Для агроландшафтов южной лесостепи характерны маломощность почв, невысокие запасы гумуса, постоянный дефицит продуктивной влаги, быстрая выпахиваемость и разрушение структуры, тяжелый гранулометрический состав, податливость почв эрозионным процессам [25].

Южно-лесостепная зона имеет благоприятную теплообеспеченность и недостаточное (в большинстве лет) увлажнение. Годовое количество осадков составляет 350–400 мм. За теплый период (выше 5 °С) количество осадков составляет 160–210 мм. Осадки весенне-летнего периода неустойчивы, часто носят ливневый характер и распределяются крайне неравномерно. Количество дней с атмосферной засухой составляет 8–16, в отдельные годы – до 35–40. Количество лет с выраженной засухой – около 30 %.

Продолжительность безморозного периода составляет 110–130 суток, периода с активными температурами более 10 °С – 125–130 суток со средней нормой установления с 12 мая до 19 сентября.

Объект исследований – орошаемая лугово-черноземная, среднemocная, среднегумусная, тяжелосуглинистая почва.

В ФГБУ «Центр агрохимической службы «Омский»» в лугово-черноземной почве определяли рН по ГОСТ 26483-85, органическое вещество (гумус) – по Тюрину, ГОСТ 26213-91, нитраты в слое 0–0,4 м – ГОСТ 26488-85, подвижный фосфор и обменный калий в слое 0–0,2 м – по Чирикову, ГОСТ 26204-91. В работе использовали методы маршрутного полевого исследования и лабораторные анализы.

В исходной почве (1978 г.) содержание нитратного азота весной составляло в слое 0–0,4 м 5,0–9,4 мг/кг при ее отвальной обработке на различную глубину и 2,7–6,1 мг/кг почвы при безотвальной рыхлении, то есть содержание было низким. Содержание подвижного фосфора (по Чирикову) было средним (89 мг/кг) в слое 0–0,2 м и 78 мг/кг почвы в подпахотном слое. Калий более стабилен на высоком уровне в пахотном и подпахотном горизонтах – 212 и 185 мг/кг (по Чирикову) соответственно. Верхний слой почвы (1,0–1,4 м) не засолен, на глубине 3–4 м содержание солей варьирует от слабого до среднего засоления. Реакция среды в пахотном слое преимущественно нейтральная (7,0–7,1), глубже, в карбонатных горизонтах – щелочная (до 8,4). Содержание гумуса в слое 0–0,2 м – 6,5–7,0 т/га (среднегумусная) при запасе в метровой толще 297–363 т/га.

Результаты и их обсуждение

Содержание в почве гумуса, нитратного азота, фосфора, калия и значение рН в пахотном слое свидетельствуют об уровне ее плодородия. Концентрация тяжелых металлов (свинец, кадмий, цинк и др.) характеризует степень загрязнения почвы, при этом скорость протекания данного процесса определяется типами почв и элементов рельефа [26–28]. Полноценное питание растений повышает урожайность, улучшает качество урожая. У зерновых возрастает доля зерна в общем урожае, повышается засухоустойчивость, зимостойкость и др. [29–31].

Результаты обследования показали, что почва орошаемых массивов СПК «Пушкинский» имеет нейтральную и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды, благоприятную для возделывания основных сельскохозяйственных культур (таблица 1).

Содержание гумуса по градации Гришиной и Орлова [32] оценивалось как среднее. Содержание нитратного азота в орошаемой почве находилось преимущественно на уровне низкого и среднего, что говорит о дефиците минерального питания и необходимости применения минеральных удобрений на полях с низкой и средней обеспеченностью этим элементом.

Обеспеченность растений подвижным фосфором находилась в градации повышенного содержания. Однако такое его содержание является недостаточным для

формирования высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и необходимо систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений. Анализ почвенных образцов выявил на всех полях высокое и очень высокое содержание обменного калия (167–353 мг/кг).

**Таблица 1 – Агрохимические свойства почв, СПК «Пушкинский»
(среднее за 2017 и 2020 гг.)**

Поле	рН	Гумус, %	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Тяжелые металлы, мг/кг почвы		
						Pb	Cd	Zn
4	5,8	6,4	7,0	119	281	0,63	0,037	0,45
5	5,8	6,6	12,0	130	318	0,64	0,034	0,43
9	5,8	6,5	9,7	142	167	0,64	0,043	0,49
10	5,8	6,5	11,5	136	144	0,60	0,043	0,47
11	5,9	5,9	10,4	119	150	0,53	0,042	0,54
14	5,8	6,4	6,9	140	170	0,44	0,023	0,50
17	5,9	7,2	11,1	177	353	0,72	0,028	0,63
18	5,9	6,8	6,0	133	184	0,47	0,032	0,50
25	6,0	6,7	8,4	99	167	0,73	0,043	0,49

Содержание подвижных форм свинца, цинка и кадмия находилось в концентрациях, не превышавших ориентировочно допустимые (ОДК) (СанПиН 1.2.3685-21), что характеризует почвы как незагрязненные.

На всех полях орошаемого массива ФГУП «Омское» отмечено среднее содержание гумуса – 6,5–6,8 %, нейтральная и близкая к нейтральной реакция почвенной среды – 5,8–6,2 (таблица 2).

**Таблица 2 – Агрохимические свойства почв, ФГУП «Омское»
(среднее за 2015 и 2018 гг.)**

Поле	рН	Гумус, %	N-NO ₃ , мг/кг почвы в слое 0–0,4 м	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы в слое 0–0,2 м	K ₂ O, мг/кг почвы в слое 0–0,2 м	Тяжелые металлы, мг/кг почвы		
						Pb	Cd	Zn
1	5,8	6,7	6,7	144	209	0,60	0,058	0,43
2	6,0	6,6	14,7	107	170	0,49	0,030	0,44
3	6,0	6,5	13,5	130	164	0,80	0,055	0,37
4	5,9	6,6	11,6	142	185	0,60	0,042	0,38
5	5,8	6,7	9,2	154	172	0,55	0,040	0,36
6	6,2	6,8	8,9	173	184	0,75	0,049	0,36

Содержание нитратного азота преимущественно среднее, что свидетельствует о необходимости внесения азотных удобрений. Количество подвижного фосфора варьирует от 107 до 173 мг/кг почвы и находится в градации повышенного или высокого. Содержание обменного калия в орошаемой лугово-черноземной почве более 164 мг/кг почвы и соответствует высокой обеспеченности.

Содержание подвижных форм свинца, цинка и кадмия находилось в пределах, не превышающих ОДК, что также характеризует почвы как незагрязненные. Анализ катионно-анионного состава почвенного профиля орошаемых земель СПК «Пушкинский» выявил отсутствие засоления при нейтральной реакции среды в метровом слое (6,4–7,2) и повышении щелочности в более глубоких горизонтах (8,1–8,2) (таблица 3). Концентрация анионов и катионов, в том числе и наиболее токсичных солей не достигает пороговых значений, при которых происходит угнетение культур.

Исследование катионно-анионного состава почвенного профиля орошаемых полей в ФГУП «Омское» выявило засоление слабой степени по хлоридному типу в слое почвы 0,6–1,4 м и по сульфатно-хлоридному типу в слое почвы 1,4–1,8 м (таблица 4).

Таблица 3 – Катионно-анионный состав водной вытяжки, СПК «Пушкинский» (среднее за 2017 и 2020 гг.)

Показатель	Слой почвы, м							
	0,0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0	1,0–1,2	1,2–1,4	1,4–1,8
рН водный, ед. рН	6,4	7,3	7,2	7,7	7,2	8,1	8,2	8,1
Плотный остаток, %	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	0,113	0,133	0,139
Карбонат-ион, ммоль/100 г	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07
Бикарбонат-ион, ммоль/100 г	0,25	0,56	0,56	0,56	0,56	1,05	0,86	0,79
Хлорид-ион, ммоль/100 г	0,04	0,08	0,04	0,04	0,12	0,08	0,04	0,08
Кальций, ммоль/100 г	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Магний, ммоль/100 г	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Натрий, ммоль/100 г	0,50	0,85	0,75	0,85	1,00	1,05	1,30	1,30
Сульфат-ион, ммоль/100 г	0,31	0,69	0,44	0,54	0,61	0,31	0,88	1,01

Таблица 4 – Катионно-анионный состав водной вытяжки, ФГУП «Омское» (среднее за 2015 и 2018 гг.)

Показатель	Слой почвы, м							
	0,0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0	1,0–1,2	1,2–1,4	1,4–1,8
рН водный, ед. рН	6,9	6,6	7,5	7,8	7,4	7,5	7,4	7,6
Плотный остаток, %	< 0,100	< 0,100	0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Карбонат-ион, ммоль/100 г	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07
Бикарбонат-ион, ммоль/100 г	0,33	0,13	0,79	0,42	0,48	0,52	0,40	0,55
Хлорид-ион, ммоль/100 г	0,08	0,04	0,04	0,46	0,47	0,39	0,47	0,43
Кальций, ммоль/100 г	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Магний, ммоль/100 г	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Натрий, ммоль/100 г	0,55	0,35	0,65	0,55	0,55	0,60	0,60	0,70
Сульфат-ион, ммоль/100 г	0,53	0,57	0,50	0,15	0,08	0,08	0,12	0,20

Выявленное слабое засоление, начинающееся с 0,6 м, особенно для полугидроморфной лугово-черноземной почвы с уровнем залегания грунтовых вод 2,5–3,0 м [10], в будущем может привести к изменению морфометрических характеристик сельскохозяйственных культур, а также к нарушению азотного обмена [33], что повлияет на их урожайность и качество.

Поглощающий комплекс лугово-черноземной почвы в южной лесостепи насыщен основаниями, в основном это Са, в небольших объемах от ППК – Mg и менее 1 % от емкости катионного обмена (ЕКО) составляет Na – 0,68 % в слое 0,0–0,2 м и 0,23 % в подпахотном горизонте (таблица 5).

Таблица 5 – Поглощающий комплекс лугово-черноземной почвы, Пушкинская ОС (среднее за 2015 и 2018 гг.)

Показатель	Слой почвы, м	
	0,0–0,2	0,2–0,4
Емкость катионного обмена, мг-экв /100 г	54,6	55,6
Натрий обменный, ммоль /100г, % от ЕКО	0,28/0,51	0,40/0,72

В южной лесостепи проблема высокого уровня грунтовых вод стоит достаточно остро. В этом случае основой профилактики должен стать строго

нормированный полив пресной оросительной водой из имеющихся речных источников (р. Иртыш и р. Омь).

Грунтовая вода из наблюдательных скважин в исследованных образцах умеренно пресная, хорошего качества, ирригационный коэффициент – 37,2 (скважина 1) и 78,7 (скважина 2). Величина сухого остатка изменялась от 0,701 до 0,984 г/л при рН – 7,9 (таблица 6).

Таблица 6 – Катионно-анионный состав грунтовой воды, Пушкинская ОС (среднее за 2015 и 2018 гг.)

Образец	рН	Сухой остаток, г/л	Содержание катионов и анионов, $\mu\text{моль/л}$					
			HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	SO_4^{2-}
Скважина 1	7,9	0,984	<u>8,78</u>	<u>0,86</u>	<u>3,60</u>	<u>5,54</u>	<u>4,30</u>	<u>3,80</u>
			0,535	0,030	0,072	0,066	0,099	0,182
Скважина 2	7,9	0,701	<u>7,01</u>	<u>0,39</u>	<u>4,18</u>	<u>3,02</u>	<u>2,10</u>	<u>1,90</u>
			0,428	0,014	0,084	0,036	0,048	0,091

Среди анионов превалировал HCO_3^- , среди катионов – Mg^{2+} и Ca^{2+} , что говорит о необходимости строгого контроля за уровнем грунтовых вод для поддержания благоприятного экологического состояния лугово-черноземной почвы. Также важно не допустить повышения содержания катионов натрия, чтобы не произошло вторичного засоления лугово-черноземной почвы и превращения ее в солонцеватую.

Выводы

Исследования показали, что при длительном (40 лет) орошении и интенсивном сельскохозяйственном использовании показатели плодородия лугово-черноземной почвы практически не ухудшились. Пахотные горизонты лугово-черноземной почвы имеют нейтральную и близкую к нейтральной реакцию среды (рН 5,8–6,2), среднее содержание гумуса (5,9–7,2 %). Обеспеченность нитратным азотом осталась на низком и среднем уровне (6,0–14,7 мг/кг) по причине высокого выноса вегетирующими культурами и закономерного отсутствия парового поля в структуре орошаемой пашни. Благодаря многолетнему систематическому внесению фосфорсодержащих удобрений произошло улучшение фосфатного статуса почвы (99–177 мг/кг), который определяет уровень продуктивности пашни. Содержание обменного калия остается высоким (144–353 мг/кг) и стабильным во времени, что является особенностью черноземных почв тяжелого гранулометрического состава. Содержание в почвах подвижных форм свинца, цинка и кадмия находится в концентрациях, не превышающих ориентировочно допустимые показатели.

Существенного засоления пахотных горизонтов орошаемых массивов не происходит. Концентрация натрия в почвенно-поглощающем комплексе минимальная – 0,68 % в слое 0,0–0,2 м и 0,23 % от ЕКО в подпахотном горизонте, преобладают кальций и магний. Содержание натрия в грунтовой воде (0,048–0,099 г/л) уступает кальцию и магнию. Необходимо проведение постоянного мониторинга за гидрохимическим составом поливных и грунтовых вод.

Литература

1. Храмов И. Ф., Чекусов М. С., Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений на черноземных почвах Западной Сибири // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 104–107. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.20.
2. Gomiero T. Soil degradation, land scarcity and food security: reviewing a complex challenge // Sustainability. 2016. No. 8. P. 281. DOI: 10.3390/su8030281.
3. Page K. L., Dang Y. P., Dalal R. C. The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2020. No. 4. P. 31. DOI: 10.3389/fsufs.2020.00031.

4. Макаров О. А., Строков А. С., Цветнов Е. В., Абдулханова Д. Р., Красильникова В. С., Щербакова Л. С. Оценка ущерба от деградации почв и земель субъектов Российской Федерации // Земледелие. 2020. № 6. С. 3–5. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10601.
5. Kuan H. L., Hallett P. D., Griffiths B. S., Gregory A. S., Watts C. W., Whitmore A.P. The biological and physical stability and resilience of selection of Scottish soils to stresses // European J Soil Science. 2007. No. 58. P. 811–821. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00871.x.
6. Зайдельман Ф. Р. Деградация почв как результат антропогенной трансформации их водного режима и защитные мероприятия // Почвоведение. 2009. № 1. С. 93–105.
7. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: МГУ, 2012. 412 с.
8. Jaskulska I., Romaneckas K., Jaskulski D., Gałęzewski L., Breza-Boruta B., Dębska B., Lemanowicz J. Soil Properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology // Agronomy. 2020. No. 10. Art. No. 1596. DOI: 10.3390/agronomy10101596.
9. Козлов А. В., Куликова А. Х., Селицкая О. В., Уромова И. П. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита // Вестник Томского государственного университета. Серия «Биология». 2019. № 46. С. 26–47. DOI: 10.17223/19988591/46/2.
10. Шулико Н. Н., Хамова О. Ф., Воронкова Н. А., Тукмачева Е. В., Дороненко В. Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. DOI: 10.1134/S0002188119020133.
11. Бойко В. С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2019. 312 с.
12. Аканова Н. И. Эффективные решения повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2020. № 2 (113). С. 29–32. DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.09.
13. Пронько В. В., Пронько Н. А., Рухович О. В., Ярошенко Т. М., Журавлев Д. Ю., Климова Н. Ф. Плодородие орошаемых каштановых почв сухой степи Поволжья и эффективность удобрений // Плодородие. 2020. №5 (116). С. 10–15. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.03.
14. Ледовский Е. Н., Доронин В. Г. Влияние азотных удобрений и их баковых смесей с гербицидами и фунгицидом на урожайность яровой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1 (73). С. 82–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-82-86.
15. Туkenова З. А., Алимжанов М. Б., Ашимулы К., Акылбекова Т. Н. Влияние применения удобрений на физико-химические и биологические свойства почв в зоне орошения и богары юго-востока Казахстана // Агрохимия. 2021. № 5. С. 21–36. DOI: 10.31857/S0002188121050124.
16. Юшкевич Л. В., Хамова О. Ф., Щитов А. Г., Шулико Н. Н., Тукмачева Е. В. Агроэкологические особенности возделывания ячменя в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2019. № 4 (109). С. 42–46. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.14.
17. Храмов И. Ф., Бойко В. С., Юшкевич Л. В., Воронкова Н. А., Тимохин А. Ю., Балабанова Н. Ф., Чибис В. В., Ледовский Е. Н., Доронин В. Г., Мансапова А. И., Поползухин П. В., Николаев П. Н., Белан И. А., Василевский В. Д.; Чекусов М. С., Кем А. А., Бушухина Л. Л. Система адаптивного земледелия Омской области. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2020. 522 с.
18. Шапорина Н. А., Сайб Е. А., Соловьев С. В., Филимонова Д. А., Безбородова А. Н., Миллер Г. Ф. Анализ изученности эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель юга Западной Сибири // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4. С. 161–181.
19. Тимохин А. Ю., Бойко В. С. Зернобобовые культуры в системе орошаемого агроценоза. Омск: ФГБНУ «Омский АНЦ», 2021. 164 с.
20. Фомин Л. В. Регуляция водного режима растений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 8. С. 124–135.
21. Иванова Н. А., Гурина И. В., Шемет С. В. Влияние водного режима почв на продуктивность сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 4. С. 124–135.
22. Курбанов С. А. Сохранение и повышение плодородия почв – основа увеличения эффективности земледелия Дагестана // Земледелие. 2021. № 4. С. 16–20. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10404.
23. Бауер А. Ю., Рейнгард Я. Р., Ивлева Т. А. Эволюция черноземных почв в современных экологических условиях юга Омской области // Вестник КрасГАУ. 2015. № 8. С. 66–70.
24. Аксенова Ю. В. Динамика свойств лугово-черноземных почв в условиях длительного орошения // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 5. С. 30–32.
25. Проблемы почвенного плодородия Омской области. ФГБУ «ЦАС «Омский». Омск: Вариант-Омск, 2012. 288 с.
26. Клименко О. Е., Плугатарь Ю. В., Клименко Н. И., Клименко Н. Н. Влияние приемов биологизации на содержание некоторых тяжелых металлов в почве и виноградном растении // Агрохимия. 2019. № 7. С. 83–96. DOI 10.1134/S0002188119070056.
27. Бобренко И. А., Матвейчик О. А., Бобренко Е. Г. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвах и растениях лесостепи Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2(167). С. 65–72. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-65-72.

28. Савич В. И., Торшин С. П., Сорокин А. Е., Гукалов В. В., Рашкович В. Н. Агроэкологическая оценка скорости физико-химических процессов, протекающих в почвах // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 58–62. DOI 10.24412/1029-2551-2021-2-012.
29. Якименко В. Н., Конарбаева Г. А., Бойко В. С., Тимохин А. Ю. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов в почвах агроценозов Западной Сибири // Экология и промышленность России. 2020. № 12. С. 52–57. DOI: 10.18412 / 1816-0395-2020-12-52-57.
30. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи // Агрохимия. 2021. № 4. С. 49–56. DOI: 10.31857/S0002188121040153.
31. Мнатсаканян А. А., Чуварлеева Г. В., Васюков П. П., Быков О. Б. Система обработки почвы как фактор воспроизводства почвенного плодородия на черноземе выщелоченном Краснодарского края // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3. С. 78–87.
32. Когут М. Б. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. 2012. № 9. С. 944–952.
33. Иванищев В. В., Евграфкина Т. Н., Бойкова О. И., Жуков Н. Н. Засоление почвы и его влияние на растение // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 28–42.

References

1. Khramtsov I. F., Chekusov M. S., Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A. Agroecological assessment of long-term fertilizers application on chernozem soil in Western Siberia // Plodorodie. 2021. No. 3 (120). P. 104–107. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.20.
2. Gomiero T. Soil degradation, land scarcity and food security: reviewing a complex challenge // Sustainability. 2016. No. 8. P. 281. DOI:10.3390/su8030281.
3. Page K. L., Dang Y. P. and Dalal R. C. The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2020. No. 4. P. 31. DOI: 10.3389/fsufs.2020.00031.
4. Makarov O. A., Stokov A. S., Tsvetnov E. V., Abdulkhanova D. R., Krasilnikova V. S., Shcherbakova L. S. Assessment of damage from the soil and land degradation in subjects of the Russian Federation // Zemledelie. 2020. No. 6. P. 3–5. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10601.
5. Kuan H. L., Hallett P. D., Griffiths B. S., Gregory A. S., Watts C. W., Whitmore A.P. The biological and physical stability and resilience of selection of Scottish soils to stresses // European J Soil Science. 2007. No. 58. P. 811–821. DOI:10.1111/j.1365-2389.2006.00871.x.
6. Zaidel'man F. R. Degradation of soils as a result of human-induced transformation of their water regime and soil-protective practice // Eurasian Soil Science. 2009. Vol. 42. No. 1. P. 82–92. DOI: 10.1134/S1064229309010116.
7. Dobrovolskiy G. V., Nikitin E. D. Ecology of soils. Moscow: Moscow State University Publ., 2012. 412 p.
8. Jaskulska I., Romaneckas, K., Jaskulski D., Gałęzewski L., Breza-Boruta B., Dębska B., Lemanowicz J. Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology // Agronomy. 2020. No. 10. Art. No. 1596. DOI: 10.3390/agronomy10101596.
9. Kozlov A. V., Kulikova A. H., Selitskaya O. V., Uromova I. P. Stability of microbiological activity of the sod-podsolic soil when applying diatomite and zeolite // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Tomsk State University Journal of Biology]. 2019. No. 46. P. 26–47. DOI: 10.17223/19988591/46/2.
10. Shuliko N. N., Khamova O. F., Voronkova N. A., Tukmacheva E. V., Doronenko V. D. Effect of the complex fertilization and biopreparations on effective fertility of leached chernozem and barley productivity // Agrohimia. 2019. No. 2. P. 13–20. DOI: 10.1134/S0002188119020133.
11. Boiko V. S. Field fodder production on irrigated chernozems in the forest-steppe of Western Siberia. Omsk: IP Maksheeva E. A. Publ., 2019. 312 p.
12. Akanova N. I. Effective solutions for soil fertility and yield increasing // Plodorodie. 2020. No. 2 (113). P. 29–32. DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.09.
13. Pronko V. V., Pronko N. A., Rukhovich O. V., Yaroshenko T. M., Zhuravlev D. Yu., Klimova N. F. Fertility of irrigated chestnut soils of the dry steppe of the Volga region and efficiency of fertilizers // Plodorodie. 2020. No. 5 (116). P. 10–15. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.03.
14. Ledovsky E. N., Doronin V. G. The effect of nitrogen fertilizers and their tank mixtures with herbicides and fungicides on spring wheat productivity // Grain Economy of Russia. 2021. No. 1 (73). P. 82–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-82-86.
15. Tukenova Z. A., Alimzhanova M. B., Ashimuly K., Akyzbekova T. N. Effect of fertilizers on the physical, chemical and biological properties of soils in the irrigation and bogara zone of the south-east of Kazakhstan // Agrohimia. 2021. No. 5. P. 21–36. DOI: 10.31857/S0002188121050124.
16. Yushkevich L. V., Hamova O. F., Schitov A. G., Suliko N. N., Tukmacheva E. V. Agroecological specifics of barley cultivation in the forest-steppe of Western Siberia // Plodorodie. 2019. No. 4 (109). P. 42–46. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.14.

17. Khramtsov I. F., Boiko V. S., Yushkevich L. V., Voronkova N. A., Timokhin A. Yu., Balabanova N. F., Chibis V. V., Ledovskiy E. N., Doronin V. G., Mansapova A. I., Popolzukhin P. V., Nikolaev P. N., Belan I. A., Vasilevsky V. D.; Chekusov M. S., Kem A. A., Bushukhina, L. L. The system of adaptive agriculture in the Omsk region. Omsk: IP Maksheeva E. A. Publ., 2020. 522 p.
18. Shaporina N. A., Sayb E. A., Soloviev S. V., Filimonova D. A., Bezborodova A. N., Miller G. F. State of knowledge analysis of the ecological and reclamation state of irrigated lands in the south of Western Siberia // Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2020. No. 4. P. 161–181. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-161-181.
19. Timokhin A. Yu., Boiko V. S. Leguminous crops in the irrigated agrocenosis system: monograph. Omsk: FSBSI “Omsk ASC”, 2021. 164 p.
20. Fomin L. V. Regulation of the water regime of plants // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2013. No. 8. P. 124–135.
21. Ivanova N. A., Gurina I. V., Shemet S. V. Influence of soil water regime on crop productivity // Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2014. No. 4. P. 124–135.
22. Kurbanov S. A. Preservation and improvement of soil fertility is the basis for improving the farming efficiency in Dagestan // Zemledelie. 2021. No. 4. P. 16–20. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10404.
23. Bauer A. Yu., Reingard Ya. R., Ivleva T.A. Chernozem soils evolution in modern ecological conditions in the Omsk region south // The Bulletin of KrasGAU. 2015. No. 8. P. 66–70.
24. Aksenova Yu. V. Dynamics of properties of meadow-chnozem soils under conditions of prolonged irrigation // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2016. No. 5. P. 30–32.
25. Problems of soil fertility of the Omsk region. Omsk: Variant-Omsk, 2012. 288 p.
26. Klimenko O. E., Plugatar Yu. V., Klimenko N. I., Klimenko N. N. Impact of biologizatio on content of some heavy metals in soil and grape plant // Agrohimia. 2019. No. 7. P. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119070056.
27. Bobrenko I. A., Matveychik O. A., Bobrenko E. G. The content of heavy metals and arsenic in soils and plants of the forest-steppe of Western Siberia // The Bulletin of KrasGAU. 2021. No. 2(167). P. 65–72. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-65-72.
28. Savich V. I., Torshin S. P., Sorokin A. E., Gukalov V. V., Rashkovich V. N. Agroecological evaluation of soil physical-chemical processes speed // Agrochemical Herald. 2021. No. 2. P. 58–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-2-012.
29. Yakimenko V. N., Konarbaeva G. A., Boiko V. S., Timokhin A. Yu. Ecological evaluation of the content of heavy metals in soils of agrocenosis of Western Siberia // Ecology and Industry of Russia. 2020. No. 12. P. 52–57. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-12-52-57.
30. Zavyalova N. E., Vasbieva M. T., Shyshkov D. G. Influence of the mineral fertilizers on sod-podzolic soil fertility, content of major nutrients and heavy metals in winter rye // Agrohimia. 2021. No. 4. P. 49–56. DOI: 10.31857/S0002188121040153.
31. Mnatsakanyan A. A., Chuvarleeva G.V., Vasyukov P. P., Bykov O.B. Soil cultivation system as a factor of improvement of soil fertility on chernozems leached in Krasnodar region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 3. P. 78–87. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.09.
32. Kogut M. B. Assessment of humus content in arable soils of Russia // Pochvovedenie. 2012. No. 9. P. 944–952.
33. Ivanishchev V. V., Evgrashkina T. N., Boykova O. I., Zhukov N. N. Soil salinization and its influence on the plant // Izvestija Tulsogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki O Zemle. 2020. No. 3. P. 28–42.

UDC 631.67 (571.13)

Boiko V. S., Timokhin A. Yu., Mikhailov V. V.

FERTILITY OF IRRIGATED LANDS IN THE SOUTH FOREST-STEPPE OF THE OMSK REGION

Summary. *Unsustainable irrigation of chernozems can lead to secondary salinization and other negative consequences. The purpose of the research was to assess the fertility and hydrochemical composition of meadow-chnozem soil of the forest-steppe of Western Siberia under conditions of prolonged irrigation. The surveys were carried out in the fields of the agricultural production cooperative (APC) “Pushkinsky” and Federal State Unitary Enterprise (FSUE) “Omskoye”; cultivation technology – adaptive system of irrigated agriculture. The studies were conducted in 2015–2020 on the Pushkin irrigation system. The object of the research – irrigated meadow-chnozem heavy loamy soil. The methods of route field research and laboratory analyzes were used. The results obtained were compared with the baseline values (1978). With long-term irrigation and intensive agricultural use, the fertility indicators of meadow-chnozem soil did not significantly*

deteriorate. The arable horizons have a neutral and close to neutral reaction (pH 5.8–6.2), average humus content (5.9–7.2%). The supply of nitrate nitrogen, as a rule, remained at a low and medium level (6.0–14.7 mg/kg) due to the high removal by vegetative crops and the absence of fallow fields in the structure of irrigated arable land. Long-term systematic application of phosphorus-containing fertilizers and creation of a positive P balance led to the improvement of soil phosphate status (99–177 mg/kg). The content of exchangeable potassium remains high (144–353 mg/kg) and is stable over time, which is a feature of chernozems with a heavy particle size distribution. The content of mobile forms of lead, zinc and cadmium does not exceed approximate permissible concentrations in the soil. When analyzing the cation-anionic composition of the water extract of the soil profile of FSUE “Omskoe”, a weak salinity of the chloride type was revealed in the 0.6-1.4 m layer; of the sulfate-chloride type – in the 1.4-1.8 m layer. In the future, it may lead to secondary salinization and serve as a limiting factor for high yields. The absorbing complex of meadow-chernozem soil in the southern forest-steppe is highly saturated with bases. Sodium concentration is minimal; calcium and magnesium cations prevail. The groundwater samples are moderately fresh and of good quality. Among the anions, HCO_3^- prevails, among the cations – Mg^{2+} and Ca^{2+} , which indicates the need to control the groundwater level to maintain a favorable ecological state of meadow-chernozem soil.

Keywords: fertility, irrigated lands, soil absorbing complex, cation-anionic composition, salinity, Omsk region.

Бойко Василий Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru.

Тимохин Артем Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий агротехнологическим центром, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: timokhin@anc55.ru.

Михайлов Вячеслав Владимирович, ведущий специалист лаборатории полевого кормопроизводства, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, Россия, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: slava.mikhaylov.1989@mail.ru.

Boiko Vasily Sergeyeovich, Dr. Sc. (Agr.), senior researcher, deputy director for scientific work, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru.

Timokhin Artem Yurievich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the agro-technological center, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: timokhin@anc55.ru.

Mikhailov Vyacheslav Vladimirovich, leading specialist of the Laboratory of field fodder production, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: slava.mikhaylov.1989@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.06.2021.

Дата принятия к печати – 25.07.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57

УДК 633.11«324»:631.524.7/526.32(470.62/67)

Галушко Н. А., Соколенко Н. И.

ВАЖНЕЙШИЕ КРИТЕРИИ ОТБОРА НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр»

Реферат. *Качество зерна пшеницы во многом зависит от наследственных особенностей сорта. В Северо-Кавказском ФНАЦ в 2018–2020 гг. проведены исследования по поиску исходного материала среди разнообразия генотипов озимой мягкой пшеницы на ранних этапах селекционного процесса с целью отбора наиболее перспективных на качество зерна. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднесуглинистый слабогумусированный среднесуглинистый. Климат зоны умеренно-континентальный. Годовая сумма эффективных температур составляет 3177,2 °С, количество осадков – 559,6 мм, ГТК – 1,06. Перед посевом вносили $N_{40}P_{60}K_{40}$, весной проводили подкормку аммиачной селитрой в дозе 26 кг д.в./га. Материалом для исследований послужили 15 линий мягкой озимой пшеницы, отобранных по комплексу селекционно ценных признаков (урожайность, устойчивость к болезням, морозо- и зимостойкость, засухоустойчивость). Сравнение проводили со стандартом Айвина по массовой доле клейковины и её качеству, массовой доле белка и седиментации. Выделены четыре линии I и II группы – 21663, 20029, 21728, 21944 с содержанием клейковины от 23 % до 25,7 %, превосшедшие стандарт на 2,0–4,7 %, что соответствует третьему классу качества зерна. Незначительная изменчивость количества белка (10 %) в зерне по годам отмечена у линии 21944, средняя (14,2–18,7 %) – у линий 21226, 21924 и 20029, у остальных генотипов, включая стандарт, она была значительной (20,1–34,3 %). В среднем за годы изучения шесть линий (21420, 21663, 21683, 21118, 21944, 21924) классифицируются как сильные пшеницы – показатель седиментации 51–62 мл. Сила муки стандарта Айвина имела среднее значение седиментации 49 мл. Линии 21944 и 21924, превосшедшие стандарт, могут быть использованы как источники высокого качества зерна при создании новых сортов мягкой озимой пшеницы для регионов с засушливым периодом налива.*

Ключевые слова: *озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), источник, качество зерна, белок, клейковина, сила муки, селекция.*

Для цитирования: *Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Важнейшие критерии отбора на качество зерна в селекции озимой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 50–57. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57.*

For citation: *Galushko N. A., Sokolenko N. I. The most important selection criteria in winter wheat breeding for grain quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 50–57. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-50-57.*

Введение

Основной культурой, возделываемой в Ставропольском крае, является мягкая озимая пшеница [1]. Около 70 сортов пшеницы рекомендовано к возделыванию в регионе. Среди них высокопродуктивные сорта пшеницы селекции Северо-Кавказского ФНАЦ занимают 12,3 % площадей в крае. Несмотря на достаточно высокие урожаи современных сортов, использование технологий возделывания, направленных на повышение урожая, температурный режим и влагообеспеченность вегетационного периода не всегда позволяют получить зерно высокого качества [2, 3].

Для этого необходима целенаправленная селекция сортов, отличающихся не только высокими качественными показателями зерна, но и способных в разные по климатическим условиям годы формировать сильное зерно [4, 5].

Качество зерна пшеницы во многом зависит от наследственных особенностей сорта [6]. Важнейшими критериями качества зерна мягкой озимой пшеницы являются массовая доля клейковины и её качество, массовая доля белка и величина седиментации [7, 8], следовательно, большее внимание следует уделять проблеме выведения сортов озимой пшеницы, которые сочетали бы в себе хорошее качество с высокой урожайностью и другими хозяйственно ценными признаками [9, 10]. Поэтому возрастает необходимость поиска исходного материала среди разнообразия генотипов на ранних этапах селекционного процесса для создания новых высококачественных сортов [11].

Цель исследований – оценка и отбор генотипов озимой мягкой пшеницы, перспективных в селекции на качество зерна.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2018–2020 гг. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднесуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 3,55 %, подвижных форм P_2O_5 – 18 мг/кг, K_2O – 214 мг/кг почвы (по Мачигину). Климат зоны умеренно-континентальный, лето жаркое и сухое. Годовая сумма эффективных температур по многолетним данным составляет 3177,2 °С, среднегодовое количество осадков 559,6 мм, ГТК = 1,06.

Материалом исследований послужили 15 линий мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), выделенных по комплексу селекционно ценных признаков (урожайность, устойчивость к болезням, морозо- и зимостойкость, засухоустойчивость).

Исследования проводили согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [12]. Площадь делянки 10 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое, стандарт – сорт Айвина, располагали через пять номеров. Предшественник – чистый пар, срок посева – 30 августа, рекомендованный для зоны возделывания, норма высева – 4 млн всхожих семян на 1 га. Посев осуществляли селекционной сеялкой «Клён». Перед посевом вносили сложные минеральные удобрения – нитроаммофоску в дозе $N_{40}P_{60}K_{40}$, весной проводили поверхностную подкормку аммиачной селитрой с помощью РУМа в дозе 26 кг д.в./га. Доза удобрений – рекомендованная для возделывания интенсивных сортов озимой пшеницы по паровому предшественнику с учетом агроклиматического состояния пахотного слоя почвы для сельскохозяйственной зоны возделывания [13].

Метеорологические условия в годы проведения исследований были контрастными и включали весь спектр лимитирующих факторов среды распространенных в Северо-Кавказском регионе: неравномерное выпадение осадков, осенние и весенние засухи, заморозки [14]. Сельскохозяйственный 2017/2018 г. характеризовался очень засушливым летне-осенним и весенне-летним периодом (рисунок 1). Суммарное количество осадков за зимний период в 2018 г. был выше нормы на 64,9 %, в 2019 – на 6,5 %, тогда как в 2020 г. недобор осадков составил 23,5 %.

Во время всего периода исследований отмечали раннее возобновление вегетации (температура в марте на 1,2–4,5 °С выше нормальных значений). Апрель характеризовался температурами близкими к среднегодовым значениям (рисунок 2).

Недобор осадков в апреле 2018 г. составил 65 %, в мае – 34 %, а в июне они полностью отсутствовали. Летне-осенний период 2018 г. был засушливым (ГТК = 0,85). В апреле и июне 2019 г. наблюдали сильную двухмесячную засуху, осадков выпало меньше нормы на 48 и 69 % соответственно. Недостаток влаги отмечен в 2020 г. в марте и апреле. В 2020 г. среднемесячная температура вегетационного

периода была выше на 2,2 °С, при этом осадков выпало меньше нормы на 140,0 мм, что составило 66 % от климатической нормы. Скудные и неравномерные осадки приводили к периодическим засухам.

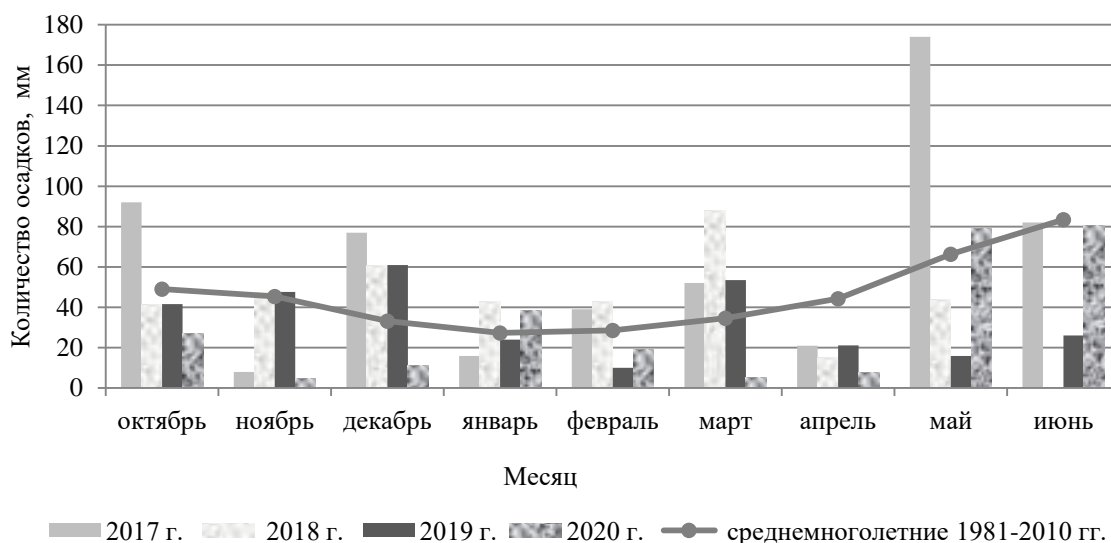


Рисунок 1 – Влагообеспеченность вегетационного периода в годы исследований

Температурный режим в мае–июне был выше среднемноголетних показателей в 2018 г. на 2,8–3,3 °С, в 2019 г. – на 2,2–4,6 °С, в 2020 г. – на 0,4–2,1 °С. Таким образом, налив зерна проходил при повышенном температурном режиме и дефиците влаги в 2018 и 2019 гг., тогда как в 2020 г. в этот период метеорологические условия были близки к норме.

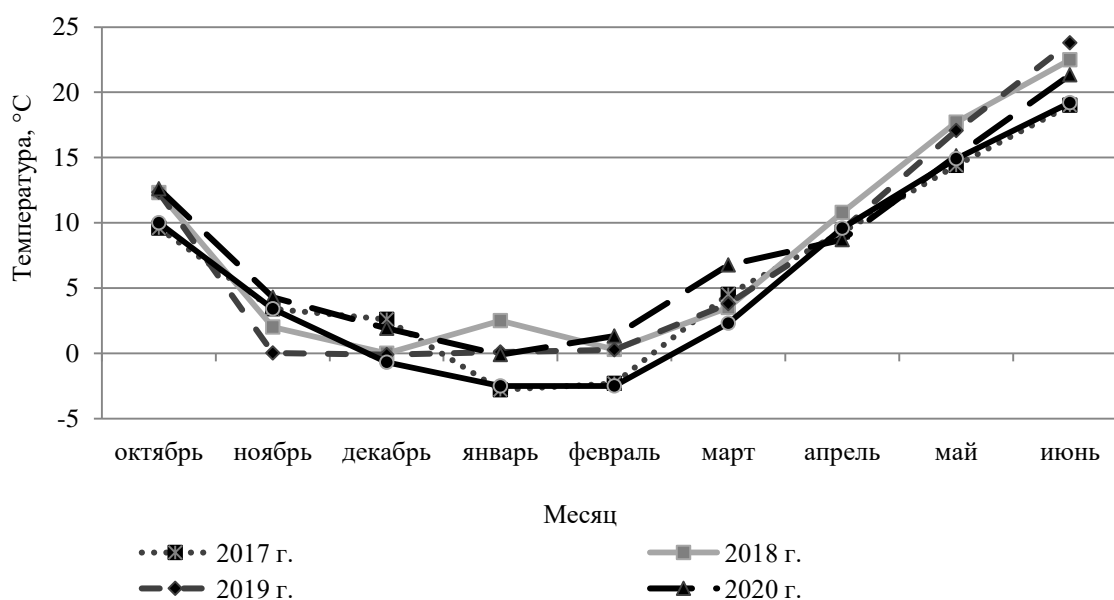


Рисунок 2 – Температурный режим вегетационного периода в годы исследований

Оценку качества зерна проводили по важнейшим критериям качества – массовой доле клейковины и её качеству, массовой доле белка и значению седиментации. Выделение навесок для анализа качества зерна осуществляли по ГОСТ 12036. Количество и качество сырой клейковины – по ГОСТ 54478 – 2011, качество сырой клейковины определяли на приборе ИДК-3, содержание белка – по ГОСТ 10846 – 91, седиментацию – по методике А. Я. Пумпянского [15].

Статистическую обработку данных осуществляли методами дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [16], используя программу AgCStat для Excel.

Результаты и их обсуждение

Сложные метеорологические условия налива зерна озимой пшеницы в годы исследований неоднозначно отразились на качестве изучаемых линий. Исследования качества зерна генотипов пшеницы выявило варьирование показателей как по образцам, так и годам.

Наиболее важной технологической характеристикой качества зерна озимой пшеницы является массовая доля клейковины и группа качества. Количество клейковины варьировало по линиям в годы исследований от 14,0 до 32,2 % (таблица 1). Для формирования высококачественного зерна пшеницы более благоприятными оказались условия 2020 г., а менее благоприятными они были в 2018 г. Это связано с лучшими условиями влагообеспеченности и температурным режимом во время налива 2020 г. В среднем за три года максимальное количество клейковины сформировали линии II группы: 21663 – 25,7 %, 20029 – 25 %, 21728 – 24 % и 21944 – 23 %, что соответствует третьему классу качества. Стандарт Айвина в этих же условиях сформировал 21,0 % клейковины I группы качества. Все изучаемые генотипы пшеницы по годам характеризовались клейковиной I или II группы. Так, в 2018 г. линии пшеницы, содержащие клейковину I группы качества, составляли 37,5 %, в 2019 г. – 100 %, а в 2020 г. – всего 19 %.

Таблица 1 – Характеристика линий озимой пшеницы по количеству и качеству клейковины в зерне

Линия	2018 г.		2019 г.		2020 г.		\bar{x} по годам	
	клейковина, %	ИДК	клейковина, %	ИДК	клейковина, %	ИДК	клейко вина, %	ИДК
21378	16,1	78,0	21,6	54,6	22,2	84,4	20,0	72,3
21420	17,8	78,6	21,8	54,6	27,9	72,0	22,5	68,4
21521	17,7	78,4	18,8	60,2	28,5	91,4	22,0	76,6
21663	22,3	78,2	22,6	75,0	32,2	90,0	25,7	81,0
21683	17,0	80,4	17,5	53,6	28,0	85,8	21,0	73,2
21728	16,5	70,0	23,9	65,8	31,6	93,0	24,0	76,3
21118	17,6	77,8	19,4	57,6	27,5	93,8	21,5	76,4
21123	17,3	73,2	18,5	47,2	24,4	74,2	20,0	64,8
21226	18,3	84,8	20,1	58,6	24,6	80,6	21,0	74,6
21242	18,1	75,1	19,8	46,8	25,1	78,0	21,0	66,6
21944	21,8	71,4	22,4	59,0	24,9	72,4	23,0	67,6
21963	18,1	81,6	16,8	68,0	24,2	80,0	19,7	76,5
21924	22,8	76,3	18,6	57,2	25,8	71,2	22,4	68,2
22024	17,9	67,0	20,7	67,6	27,7	89,0	22,1	74,5
20029	22,1	90,8	25,8	72,2	27,9	88,0	25,0	83,6
Айвина, St.	19,0	78,4	19,5	65,6	23,1	81,0	21,0	75,0
\bar{x} по линиям	18,8	77,5	20,5	60,2	26,6	82,8	22,0	73,5
НСР ₀₅	3,59	13,30	3,97	12,1	2,86	12,24		

Максимальное в опыте количество белка сортообразцы сформировали в 2020 г. – в среднем 15,7 %, при средней за три года величине этого показателя 12,6 %. К подобному варьированию привели метеорологические условия в период налива зерна (таблица 2). Незначительная изменчивость (10 %) количества белка в зерне по годам отмечена у линии 21944, средняя (14,2–18,7 %) – у линий 21226, 21924 и 20029, у остальных образцов, в том числе и у стандарта Айвина – значительная (20,1–34,8 %).

Таблица 2 – Характеристика линий озимой пшеницы по количеству белка в зерне, %

Линия	2018 г.	2019 г.	2020 г.	\bar{x}	Коэффициент вариации (C_v), %
21378	7,8	12,1	13,1	11	25,6
21420	9,9	12,2	15,2	12,4	21,4
21521	8,7	10,6	16,7	12	34,8
21663	12,4	12,7	18,9	14,7	24,9
21683	9,4	9,8	16,5	11,9	33,5
21728	9,2	13,4	18,6	13,7	34,3
21118	9,8	10,9	16,2	12,3	27,8
21123	9,6	10,4	14,4	11,5	22,3
21226	10,3	14,4	14,4	13	18,2
21242	10,1	11,1	14,7	12	20,1
21944	12,1	12,6	14,6	13,1	10,0
21963	10,1	9,4	14,2	11,2	23,1
21924	12,7	10,4	15,2	12,8	18,7
22024	9,9	11,6	16,3	12,6	26,3
20029	12,3	14,6	16,4	14,4	14,2
Айвина	10,6	10,9	15,3	12,3	21,3
\bar{x} по линиям	10,3	11,7	15,7	12,6	
Коэффициент вариации (C_v), %	13,6	13,2	9,9		
НСР ₀₅	2,10	2,03	2,15		

Примечание. Количество белка для сильных пшениц по ГОСТ 9353-2016 не менее 13,5 %.

Информативным показателем качества муки и, следовательно, зерна является показатель седиментации – набухания муки в слабых растворах органических кислот. Этот показатель позволяет эффективно вести селекцию на качество сильных сортов пшеницы и дает возможность определять потенциал зерна на ранних этапах [8]. Нами установлена умеренная корреляционная зависимость седиментации с количеством клейковины ($r = 0,5$ при $p = 0,47$). Изученные линии показали различные значения силы муки по набуханию в растворе уксусной кислоты. В среднем за годы изучения линии 21420, 21663, 21683, 21118, 21944, 21924 классифицируются как сильные пшеницы, у которых показания седиментации составили 52–54,5 мл (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика линий озимой пшеницы по значению седиментации, мл

Линия	2018 г.	2019 г.	2020 г.	\bar{x}
21378	34	43	33	37
21420	40	71	76	62
21521	30	52	39	40
21663	41	63	69	58
21683	44	61	63	56
21728	35	51	49	45
21118	42	57	53	51
21123	41	50	51	47
21226	37	40	40	39
21242	44	42	51	46
21944	49	60	50	53
21963	28	43	41	37
21924	49	60	59	56
22024	32	43	40	38
20029	33	61	51	48
Айвина	43	53	50	49
НСР ₀₅	8,15	9,18	9,48	1,24

Примечание. Значение седиментации для сильных пшениц по Пумпянскому А.Я. (1960) – 50 мл.

Остальные линии показали значение седиментации на уровне ценной пшеницы – 35,5–49,5 мл. Линия 21963 в тяжелых условиях 2018 г. сформировала зерно со значением силы муки на уровне слабой пшеницы (менее 30 мл). Сила муки стандарта

Айвина варьировала по годам от ценной (43 мл) до сильной пшеницы (53 мл), со средним значением седиментации 49 мл.

Выводы

Выделены четыре линии озимой пшеницы – 21663, 20029, 21728, 21944, сформировавшие клейковины 23 % и более, I и II группы, что соответствует третьему классу качества. Стандарт Айвина сформировал 21,0 % клейковины I группы.

Незначительная изменчивость количества белка (10 %) в зерне по годам отмечена у линии 21944, средняя (14,2–18,7 %) – у линий 21226, 21924 и 20029, у остальных генотипов и у стандарта Айвина – значительная (20,1–34,3 %).

Изученные линии показали различные значения силы муки по её набуханию в растворе уксусной кислоты. В среднем за годы изучения шесть линий: 21420, 21663, 21683, 21118, 21944, 21924 классифицируются как сильные пшеницы – показатель седиментации 51–62 мл. Сила муки стандарта Айвина варьировала по годам от ценной (43 мл) до сильной пшеницы (53 мл), со средним значением седиментации 49 мл. Генотипы 21944, 21924, выделившиеся по комплексу признаков, могут быть использованы как источники высокого качества зерна при создании новых сортов мягкой озимой пшеницы для регионов с засушливым периодом налива.

Литература

1. Дубина В. В., Батагова Е. А., Мазницына О. Г., Фадеева О. Б., Немашкалова Е. С. Результаты работы Госсортсети Ставропольского края за 2018 год. Рекомендации производству. Ставрополь: Бюро новостей. 2018. 72 с.
2. Jaskulska I., Jaskulski D., Kotwica K., Wasilewski P., Gałęzewski L. Effect of tillage simplifications on yield and grain quality of winter wheat after different previous crops // Acta Sci. Pol., Agricultura. 2013. No. 12 (3). P. 37–44.
3. Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobińska A., Nowak A., Wójcik E. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat // Plant, Soil and Environment. 2016. Vol. 62. No. 5. P. 230–236. DOI: 10.17221/18/2016-PSE.
4. Соколенко Н. И., Комаров Н. М., Галушко Н. А. Источники высокого качества зерна в селекции мягкой озимой пшеницы и тритикале // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 33–36. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11108.
5. Давидянц Э. С., Ерошенко Ф. В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 6. С. 21–26.
6. Мелешкина Е. П. Методы определения качества и количества клейковины в зерне и муке из пшеницы // Контроль качества продукции. 2016. № 11 С. 26–28.
7. Нецветаев В. П., Копусь М. М., Рыжкова Т. А. Варианты глиадина и количество дисульфидных связей в белковом комплексе мягкой // Научное обозрение. Серия «Биологические науки». 2014. № 1. С. 96–106.
8. Казарцева А. Т., Сокол Н. В., Влащик Л. Г. Показатель седиментации и его роль в экспертизе качества зерна // Методические указания. Краснодар, 2010. С. 15.
9. Маслова Г. Я., Китлярова Н. И., Тоибова А. А. Фракционный состав белкового комплекса сортов озимой пшеницы конкурсного сортоиспытания // Инновационная наука. 2016. № 3. С. 56–58.
10. Hysing S.C., Merker A., Liljeroth E., Koebner R. M. D., Zeller F. J., Hsam, S. L. K. Powdery mildew resistance in 155 Nordic bread wheat cultivars and landraces // Hereditas. 2007. Vol. 144. P. 102–119. DOI: 10.1111/j.2007.0018-0661.01991.x.
11. Hermuth J., Leišova-Svobodova L., Bradova J., Kosová K., Dvořáček V., Prášil I. T., Dotlačil L. Genetic characterization and evaluation of twenty Chinese winter wheat cultivars as potential sources of new diversity for breeding // Czech J. Genet. Plant Breed. 2019 Vol. 55. No. 1. P. 8–14. DOI: 10.17221/192/2017-CJGPB.
12. Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М.: Колос, 1989. С. 194.
13. Кулинец В. В., Годунова Е. И., Желнакова Л. И., Удовыденко В. И., Петрова Л. Н., Антонов С. А., Андреев Д. Ю., Черкашин В. Н., Дридигер В. К., Дзыбов Д. С., Кравцов В. В., Ерошенко Ф. В., Куприченков М. Т., Ковтун В. И., Багринцева В. Н., Кузыченко Ю. А., Шустикова Е. П., Хрипунов А. И., Шаповалова Н. Н., Нешин И. В., Чертов В. Г., Володин А. Б., Комаров Н. М., Лапенко Н. Г., Галушко Н. А., Давидянц Э. С., Чапцев А. Н., Чапцева Т. В., Шлыкова Т. Д., Браткова Л. Г., Чумакова В. В., Общия Е. Н., Ходжаева Н. А., Федотов А. А. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: Агрус, 2013. 520 с.

14. Антонов С. А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (66). С. 43–46.
15. Пумпянский А. Я. Технологические свойства мягких пшениц. Л.: Колос, 1971. 320 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Dubina V. V., Batagova E. A., Maznitsyna O. G., Fadeeva O. B., Nemashkalova E. S. Results of the work of the State Commission for Selection Achievements (Gossortcommission) Stavropol Territory for 2018. Recommendations for production. Stavropol: Byuro Novostey, 2018. 72 p.
2. Jaskulska I., Jaskulski D., Kotwica K., Wasilewski P., Gałęzewski L. Effect of tillage simplifications on yield and grain quality of winter wheat after different previous crops // Acta Sci. Pol., Agricultura. 2013. No. 12 (3). P. 37–44.
3. Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobiółka A., Nowak A., Wójcik E. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat // Plant, Soil and Environment. 2016. Vol. 62. No. 5. P. 230–236. DOI: 10.17221/18/2016-PSE.
4. Sokolenko N. I., Komarov N. M., Galushko N. A., Dubina V. V. Sources of high grain quality in breeding of soft winter wheat and triticale // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2018. Vol. 32. No. 11. P. 33–36. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11108.
5. Davidyants E. S., Eroshenko F. V. Current state, trends for production optimization of high-quality grain of winter wheat in Stavropol Krai // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2017. No. 6. P. 21–26.
6. Meleshkina E. P. Methods for determining the quality and quantity of gluten in grain and wheat flour // Product Quality Control. 2016. No. 11 P. 26–28.
7. Netsvetaev V. P., Kopus M. M., Ryzhkova T. A. Variants of gliadin and number of disulfide bond in wheat protein complex // Scientific Review. Biological Sciences. 2014. No. 1. P. 96–106.
8. Kazartseva A. T., Sokol N. V., Vlaschik, L. G. Sedimentation index and its role in grain quality examination // Methodological guidelines. Krasnodar, 2010. 15 p.
9. Maslova G. Ya., Kitlyarova N. I., Toibova A. A. Fractional composition of the protein complex of winter wheat varieties of competitive variety testing // Innovation Science. 2016. No. 3. P. 56–58.
10. Hysing S. C., Merker A., Liljeroth E., Koebner R. M. D., Zeller F. J., Hsam S. L. K. Powdery mildew resistance in 155 Nordic bread wheat cultivars and landraces // Hereditas. 2007. Vol. 144. P. 102–119. DOI: 10.1111/j.2007.0018-0661.01991.x.
11. Hermuth J., Leišova-Svobodova L., Bradova J., Kosová K., Dvořáček V., Prášil I. T., Dotlačil L. Genetic characterization and evaluation of twenty Chinese winter wheat cultivars as potential sources of new diversity for breeding // Czech J. Genet. Plant Breed. 2019 Vol. 55. No. 1. P. 8–14. DOI: 10.17221/192/2017-CJGPB.
12. Fedin M. A. Methodology for state variety testing of agricultural crops. Iss. 2. Moscow: Kolos, 1989. 194 p.
13. Kulintsev V. V., Godunova E. I., Zhelnakova L. I., Udovydchenko V. I., Petrova L. N., Antonov S. A., Andreyanov D. Yu., Cherkashin V. N., Dridiger V. K., Dzybov D. S., Kravtsov V. V., Eroshenko F. V., Kuprichenkov M. T., Kovtun V. I., Bagrintseva V. N., Kuzychenko Yu. A., Shustikova E. P., Khripunov A. I., Shapovalova N. N., Neshin I. V., Chertov V. G., Volodin A. B., Komarov N. M., Lapenko N. G., Galushko N. A., Davidyants E. S., Chaptsev A. N., Chaptseva T. V., Shlykova T. D., Bratkova L. G., Chumakova V. V., Obschchiya E. N., Khodzhaeva N. A., Fedotov A. The new generation farming system of the Stavropol Territory // Stavropol: Agrus, 2013. 520 p.
14. Antonov S. A. Climate changes and their impact on crop farming development in Stavropol Region // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 4 (66). P. 43–46.
15. Pumpyansky A. Ya. Technological properties of soft wheat. Leningrad: Kolos, 1971. 320 p.
16. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 633.11«324»:631.524.7/526.32(470.62/67)

Galushko N. A., Sokolenko N. I.

THE MOST IMPORTANT SELECTION CRITERIA IN WINTER WHEAT BREEDING FOR GRAIN QUALITY

Summary. The quality of wheat grain largely depends on the hereditary characteristics of the variety. In 2018-2020, in the North Caucasus Federal Agricultural Research Center, studies were carried out to search for source material among the diversity of genotypes of common winter wheat at the early stages of the breeding process to select

the most promising in the context of grain quality. The soil of the experimental plot is ordinary medium-thick low-humus medium loamy chernozem. The climate of the zone is temperate continental. According to long-term data, the annual sum of effective temperatures is 3177.2 °C; average annual precipitation is 559.6 mm; Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) is 1.06. Before sowing, complex mineral fertilizers were applied at a dose of $N_{40}P_{60}K_{40}$; in spring, ammonium nitrate – 26 kg of active ingredient per ha. Fifteen lines of common winter wheat selected according to a complex of breeding valuable signs (yield, resistance to diseases, frost and winter hardiness, drought resistance) served as a material for the studies. Lines were compared with the standard variety 'Aivina' according to the most important criteria: gluten mass fraction and quality, protein mass fraction and sedimentation value. Four wheat lines (21663, 20029, 21728, 21944) characterized by gluten of I and II group (gluten content from 23 % to 25.7 %) were identified. They exceeded the standard by 2.0–4.7% and corresponded to the 3 class of grain quality. In line 21944, minor variability of the protein amount (10 %) in the grain by year was noted; in the lines 21226, 21924 and 20029 – average (14.2–18.7 %); in the rest genotypes, including standard, it was significant (20.1–34.3 %). On average, over the years of studying, six lines (21420, 21663, 21683, 21118, 21944, 21924) were classified as strong wheat (sedimentation value was in the range of 51–62 ml). The flour strength of the 'Aivina' wheat grain had an average sedimentation value – 49 ml. Lines 21944 and 21924, which exceeded the standard, can be used as sources of high-quality grain when creating new varieties of common winter wheat for regions with a dry period of grain formation.

Keywords: winter wheat (*Triticum aestivum* L.), source, grain quality, protein, gluten, flour strength, breeding.

Галушко Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: natasotka@mail.ru.

Соколенко Нина Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Galushko Natalia Alekseevna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of grain quality, FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Centre"; 49, Nikonova str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: natasotka@mail.ru.

Sokolenko Nina Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the Laboratory of distant hybridization, FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Centre"; 49, Nikonova str., Mikhaylovsk, Shpakovskiy district, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: sokolenko-sniish@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 29.07.2021.

Дата принятия к печати – 30.08.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-58-68

УДК 633.11:551.5

Гулянов Ю. А.

ИЗМЕНЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

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. Проведение мониторинга климатических условий необходимо для определения степени их изменения и разработки приемов оптимизации взаимодействия природных и социально-экономических систем, направленных на поддержание продовольственной безопасности без ущерба окружающей среде. Цель исследований – анализ многолетних климатических тенденций и оценка обусловленного ими воздействия на продуктивность озимой пшеницы. Исследования проводили в модельных регионах степной зоны Европейской России – Оренбургской и Волгоградской областях с 1990 по 2020 г. Статистическую обработку осуществляли методом корреляционно-регрессионного анализа. Вариабельность исследуемых метеорологических параметров и урожайности озимой пшеницы по годам оценивали с использованием коэффициента вариации. Выявлена положительная динамика среднесуточной температуры воздуха, составившая: 1,6–2,3 °С в среднем за год, 2,5–3,5 °С – за период осенней вегетации (август–сентябрь), 1,1–2,4 °С – в весенне-летнюю вегетацию (апрель–июнь). При устойчивом снижении количества осадков теплого периода года в Оренбургской области (на 32 мм) и их нулевом балансе в Волгоградской области, на фоне возросшей на 395–580 °С суммы активных температур, произошло снижение ГТК на 0,20–0,15 единиц. В отдельные периоды вегетации его значения приблизились к оценке зоны возделывания как «сухой». Продуктивность озимой пшеницы характеризуется зональными особенностями. Урожайность зерна выше средней (2,32 т/га) в Волгоградской области была получена в 52,3 % лет, а в Оренбургской (1,61 т/га) – в 47,6 %. Урожайность, составившую 75 % от максимальной в Волгоградской области, отмечали в 33,2% лет и в 14,3 % лет – в Оренбургской области при общероссийском показателе 38,1 %. Реализация биологической продуктивности озимой пшеницы в большей степени связана с количеством атмосферных осадков, детерминирующих 40,6 % (Волгоградская область) и 44,2 % (Оренбургская область) ее вариации. В Оренбургской области приоритет имеют годовые осадки в целом и осадки холодного периода, в Волгоградской области – годовые осадки и осадки весенне-летнего периода.

Ключевые слова: климатические изменения, степная зона, *Triticum aestivum* L., озимая пшеница, реализация биологической продуктивности, технологии возделывания.

Для цитирования: 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.

For citation: 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.

Введение

Озимая пшеница относится к числу важнейших зерновых культур мирового земледелия. Ее урожаи занимают высокий удельный вес в структуре зернового производства и существенным образом влияют на продовольственную безопасность населения [1, 2].

Возделывание озимой пшеницы, обладающей специфическими биологическими особенностями, позволяет стабилизировать валовые сборы зерна в годы с низкой урожайностью яровых культур, чаще всего связанной с недостаточным атмосферным увлажнением. Способность озимой пшеницы более эффективно использовать осадки зимнего периода за счет сформировавшейся с осени корневой системы и более раннего весеннего «старта», обеспечивает прохождение этапов органогенеза, ответственных за закладку структурных элементов урожая, в более благоприятных метеорологических условиях [3–5]. Быстрое весеннее развитие озимой пшеницы обеспечивает ей большие конкурентные возможности в отношении сорных растений, дополнительно иссушающих почву и обедняющих ее питательными веществами [6, 7]. В дополнение к этому завершение налива зерна до наступления критически высоких температур позволяет получать относительно качественное зерно и в годы с критическим дефицитом летних осадков [8–10].

В РФ озимая пшеница является традиционной зерновой культурой, ежегодно занимающей значительные посевные площади [11–13]. Урожай ее зерна за истекший 25-ти летний период (1995–2020 гг.) в среднем за год составил 32,6 млн т или 36,9 % от валового сбора зерновых и зернобобовых культур (88,5 млн т) [14]. Основные площади возделывания озимой пшеницы сосредоточены в европейской части России, характеризующейся более мягкими условиями перезимовки. В хлебопекарных регионах Урала и Западной Сибири, при маломощном и неустойчивом снежном покрове, а также критически низких зимних температурах, больше возделывают яровую пшеницу [15].

Наибольшей урожайностью зерна озимой пшеницы характеризуются регионы Центрального Черноземья, отличающиеся высоким плодородием почвы и лучшей влагообеспеченностью. В то же время сборы ее зерна в степной зоне, при значительно меньшей урожайности, особенно в засушливых южных регионах, также существенно влияют на общий валовой сбор.

Из степных регионов европейской России, возделывающих преимущественно озимую пшеницу, высокой засушливостью климата отличается Волгоградская область. Не менее напряженным режимом увлажнения, при высоких ресурсах тепла, характеризуется и Оренбургская область, где озимая пшеница также возделывается на больших площадях, преимущественно в Предуралье.

Валовой сбор зерна озимой пшеницы Волгоградской области (2,07 млн т) за анализируемый период (1995–2020 гг.) в среднем за год составил 6,1 % от общего урожая. В Оренбургской области за этот же период собирали в среднем 0,38 млн т в год или 1,1 %. Примечательно, что при внешне незначительном участии указанных регионов в наполнении российских закромов, валовые сборы озимой пшеницы по стране сильно зависели от их урожаев (рисунок 1).

Корреляционно-регрессионный анализ статистических данных (1990–2020 гг.) подтвердил сильную связь приведенных величин с высоким коэффициентом корреляции от 0,75 (Оренбургская область) до 0,91 (Волгоградская область). В итоге изменение валовых сборов зерна озимой пшеницы Оренбургской и Волгоградской области в указанный период детерминировало около 86,0 % вариации общего урожая.

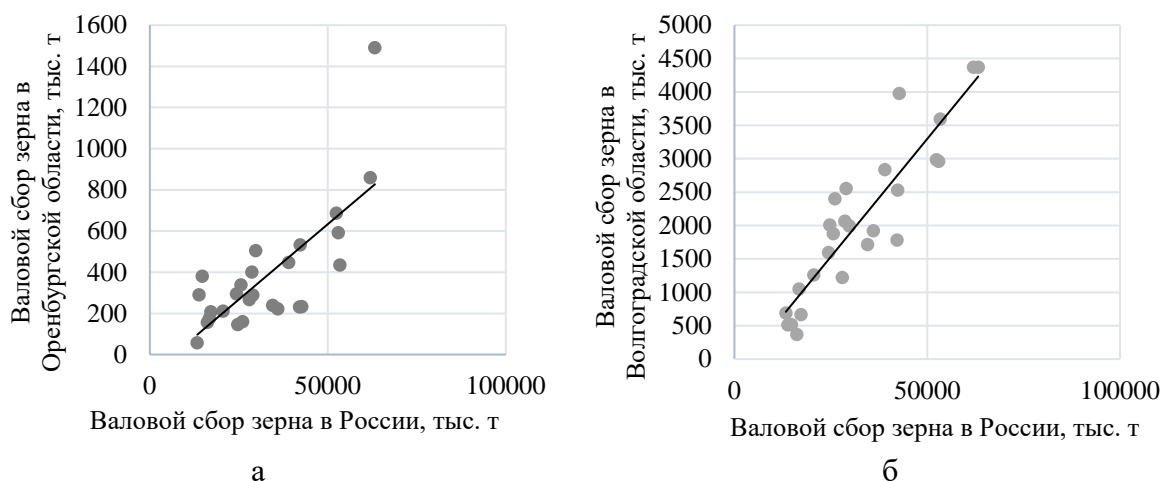


Рисунок 1 – Зависимость валовых сборов зерна озимой пшеницы в России от ее урожаев (1990–2020 гг.)

Примечание. а – Волгоградская область; б – Оренбургская область.

Повышенная засушливость указанных территорий с достаточно выработанным почвенным покровом зачастую становится причиной снижения урожаев, нестабильности как регионального зернового производства, так и производства в стране в целом. Наибольшей изменчивостью валовых сборов в анализируемый период, с коэффициентом вариации 77,0 %, характеризовалась Оренбургская область. Размах вариации составил 1,43 млн т – от 0,06 млн т в 1998 г., до 1,49 млн т – в 2020 г. В Волгоградской области наивысший сбор озимой пшеницы на уровне 4,37 млн т отмечен в 2017 г. и 2020 г., а наименьший (0,52 млн т) – в 1995 г. При достаточно высоком коэффициенте вариации (56,1 %) валовых сборов зерна озимой пшеницы Волгоградская область характеризовалась большей стабильностью производства близкой к общероссийскому показателю (45,9 %).

Нестабильность зернового производства и связанные с ней риски недополучения урожая в анализируемых регионах выступают в качестве основного мотива к сохранению и расширению посевных площадей, в том числе на малопригодных для обработки почвах – сильно смытых, засоленных, деградировавших в результате длительной почвозатратной эксплуатации.

Указанное обстоятельство в условиях современных климатических и антропогенных вызовов дополнительно обостряет проблемы степного природопользования [16]. Пролонгация на неопределенный срок несоответствующей экологическим нормам структуры степных угодий сдерживает выведение из пашни низкопродуктивных неустойчивых земель. Усиливаются риски сокращения биологического разнообразия и поддержания численности уникальных титульных объектов степей, многие из которых охраняются государством [17].

Поэтому изучение климатических тенденций в регионах степной зоны России, являющихся одновременно территориями стратегического хлебосяния и уникального природного наследия, выявление направленности их влияния на биологическую продуктивность полевых культур с целью поддержания стабильности зернового производства, является актуальным научным направлением. Разработанные на основе полученных результатов приемы оптимизации взаимодействия природных и социально-экономических систем могут иметь высокий практический интерес для поддержания продовольственной безопасности без ущерба окружающей среде.

Цель исследований – анализ многолетних тенденций в изменении региональных климатических условий и оценке обусловленного ими воздействия на продуктивность озимой пшеницы и реализацию ее биологического потенциала.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ среднесуточных температур воздуха, атмосферных осадков и сумм активных температур по отдельным периодам вегетации озимой пшеницы в степной зоне Волгоградской и Оренбургской области (с 1990 по 2020 гг.);
2. Определить вариабельность метеорологических условий и их изменение за анализируемый период;
3. Определить направленность климатических тенденций (по динамике ГТК Селянинова) и их влияние на реализацию биологической продуктивности озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований являлся процесс изменения метеорологических условий и урожайности озимой пшеницы в Волгоградской и Оренбургской областях за 1990–2020 гг. Предметом исследований выступали сведения о среднесуточных температурах воздуха, атмосферных осадках и урожайности озимой пшеницы за указанный период. Метеорологические условия анализируемого периода оценивали на основе специализированных массивов для климатических исследований Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ–МЦД) [18]. В качестве источника данных об урожайности озимой пшеницы использовали официальную статистическую информацию Федеральной службы государственной статистики, представленную в Единой информационно-статистической системе РФ (ЕМИСС) [14]. Статистическую обработку цифрового материала осуществляли на основе корреляционно-регрессионного анализа. Вариабельность исследуемых метеорологических параметров и урожайности озимой пшеницы по годам оценивали с использованием коэффициента вариации [19].

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного анализа метеорологических условий тридцатилетнего периода (1990–2020 гг.) выявлена значительная динамика средних за год температур воздуха, а также среднесуточных температур по отдельным периодам вегетации (таблица 1).

Таблица 1 – Среднесуточные температуры воздуха и их изменение по отдельным периодам вегетации в степной зоне Волгоградской и Оренбургской областей (1990–2020 гг.)

Регион	Показатель	Среднесуточная температура воздуха, °С			
		за год	за май–август	за август–сентябрь	за апрель–июнь
Оренбургская область	средние, °С	5,7	19,9	17,3	14,8
	коэффициент вариации, %	17,7	7,6	9,4	13,2
	изменение, °С	+1,6	+2,4	+2,5	+1,1
Волгоградская область	средние, °С	8,7	20,9	19,1	16,0
	коэффициент вариации, %	12,0	7,4	8,6	9,3
	изменение, °С	+ 2,3	+ 3,2	+ 3,5	+ 2,4

Большей нестабильностью указанных показателей по годам характеризовалась Оренбургская область. При среднем значении годовой температуры воздуха 5,7 °С она варьировала от 3,3 °С (1993 г.) до 7,0 °С (2020 г.) с коэффициентом вариации 17,7 %.

Наибольшая вариабельность среднесуточной температуры воздуха по отдельным периодам развития озимой пшеницы отмечена в весенне-летнюю вегетацию. При среднем значении 14,8 °С она изменялась от 11,3 °С (2004 г.) до 19,2 °С (2012 г.), а коэффициент вариации составил 13,2 %. В Волгоградской области среднесуточные температуры воздуха по указанным периодам были выше на 3,0 °С (за год), 1,0 °С (за май–август), 1,8 °С (за август–сентябрь) и 1,2 °С (за апрель–июнь). При этом их вариабельность по годам оказалась ниже по всем периодам, но особенно в весенне-летнюю вегетацию (апрель–июнь), когда разница с Оренбургской областью составила 3,9 п.п. (процентных пункта).

Следует особо отметить положительную динамику в изменении среднесуточной температуры воздуха в двух регионах, причем в Волгоградской области ее рост в абсолютном выражении оказался выше и за тридцатилетний период (1990–2020 гг.) составил 2,3 °С. Заметно потеплело в теплый период года (особенно в августе–сентябре), что в условиях дефицита атмосферного увлажнения усиливает риски снижения полноты всходов и полноценной подготовки посевов к периоду зимовки.

При присущей этим регионам засушливости климата Волгоградская область в анализируемый период характеризовалась лучшей обеспеченностью атмосферными осадками. В Оренбургской области в целом за год их отмечалось меньше на 64 мм. Наиболее существенная разница между сравниваемыми регионами наблюдалась в теплый период года (53 мм), а из периодов вегетации озимой пшеницы в осенний период (август–сентябрь) – 20 мм (таблица 2).

Таблица 2 – Атмосферные осадки и их изменение по отдельным периодам вегетации в степной зоне Волгоградской и Оренбургской областей (1990–2020 гг.)

Регион	Показатель	Атмосферные осадки, мм					
		за год	за теплый период*	за холодный период*	за май–август	за август–сентябрь	за апрель–июнь
Оренбургская область	средние, мм	359	198	161	132	50	93
	коэффициент вариации, %	25,1	36,7	25,8	45,4	61,7	42,4
	изменение, мм	–58	–32	–26	–33	0	–28
Волгоградская область	средние, мм	423	251	172	157	70	109
	коэффициент вариации, %	25,3	34,4	30,6	40,6	65,1	39,3
	изменение, мм	+50	0	+50	–18	–33	+2

Примечание. * теплый период – период со среднесуточной температурой выше 10 °С; холодный – ниже 10 °С.

В сравнении с температурой воздуха атмосферные осадки характеризовались большей нестабильностью, как в целом за год, так и по отдельным периодам вегетации озимой пшеницы. Их наибольшую вариабельность (36,7 %) в теплый период года отмечали в Оренбургской области, а в холодный период – в Волгоградской (30,6 %). В обоих регионах самое нестабильное выпадение атмосферных осадков наблюдали в осенний период вегетации озимой пшеницы (август–сентябрь), когда их количество при средних значениях 50 мм (Оренбургская область) – 70 мм (Волгоградская область) варьировало от 12 мм (2014 г.) до 142 мм (2013 г.) и от 11 мм (2015 г.) до 186 мм (1993 г.) соответственно. Большой размах вариабельности осадков отмечали и в другие, связанные с вегетацией озимой пшеницы (летние) периоды, причем в Оренбургской области он всегда оказывался шире – на 4,8 п.п. за май–август и на 3,1 п.п. за апрель–июнь.

Следует подчеркнуть устойчивую тенденцию сокращения количества атмосферных осадков в Оренбургской области. Их снижение за тридцатилетний период оказалось равным 58 мм, из которых 32 мм (55,2 %) составляли осадки теплого периода года и 26 мм (44,8 %) – холодного. В Волгоградской области, напротив, при нулевом балансе осадков теплого периода года, их стало больше выпадать в холодный период на 50 мм. В то же время, при большем количестве атмосферных осадков за август-сентябрь (на 20 мм или 40,0 %) в Волгоградской области их количество снизилось на 33 мм, а в Оренбургской области осталось прежним (50 мм).

Волгоградская область в анализируемый период характеризовалась большими ресурсами тепла, чем Оренбургская, где сумма активных температур оказалась ниже на 385 °С (за год), 137 °С (за май–август), 95 °С (за август–сентябрь), 94 °С (за апрель–июнь). В то же время тесно связанные со среднесуточными температурами воздуха суммы активных температур значительно прибавились в двух исследуемых регионах (таблица 3).

Таблица 3 – Суммы активных температур и их изменение по отдельным периодам вегетации в степной зоне Волгоградской и Оренбургской областей (1990–2020 гг.)

Регион	Показатель	Сумма активных температур, °С			
		за год	за май–август	за август–сентябрь	за апрель–июнь
Оренбургская область	средние, °С	3174	2440	1071	1284
	коэффициент вариации, %	8,3	7,6	8,6	13,5
	изменение, °С	+395	+315	+160	+145
Волгоградская область	средние, °С	3559	2577	1166	1378
	коэффициент вариации, %	7,7	7,4	8,6	10,2
	изменение, °С	+580	+390	+220	+240

Так, в Оренбургской области годовые ресурсы активных температур за анализируемый тридцатилетний период выросли на 14,2 %, а по периодам, связанным с вегетацией озимой пшеницы – на 14,2 % (май–август), 17,5 % (август–сентябрь) и 12,7 % (апрель–июнь). В Волгоградской области их прибавка оказалась еще выше – на 5,2–3,6–5,8–8,4 п.п. соответственно.

Вполне логичным следствием нестабильности радиационных ресурсов и атмосферных осадков в степной зоне Волгоградской и Оренбургской области анализируемого периода (1990–2020 гг.) стало значительное варьирование гидротермического коэффициента Селянинова (рисунок 2).

Размах его вариации наибольших значений достигал в период осенней вегетации озимой пшеницы (август–сентябрь) – от 2,00 (1993г.) до 0,20 единиц (2020 г.) в Волгоградской области и от 1,11 (1990 г.) до 0,10 (2014 г.) – в Оренбургской.

Средние за год значения ГТК в Волгоградской области оказались выше на 0,08 единиц, а по отдельным периодам вегетации озимой пшеницы – на 0,06 (за май–август) – 0,13 (за август–сентябрь) – 0,04 (за апрель–июнь) единиц, чем в Оренбургской.

Следовательно, повышение сумм активных температур при заметном снижении количества атмосферных осадков сопровождалось снижением ГТК, составившем за тридцатилетний период (1990–2020 гг.) 0,15 единиц в Волгоградской и 0,20 единиц в Оренбургской области. Наиболее заметное снижение ГТК в Волгоградской области (–0,42) отмечено в период осенней вегетации озимой пшеницы (август–сентябрь), а в Оренбургской области в весенне–летний период – на 0,31 за апрель–июнь и на 0,26 за май–август.

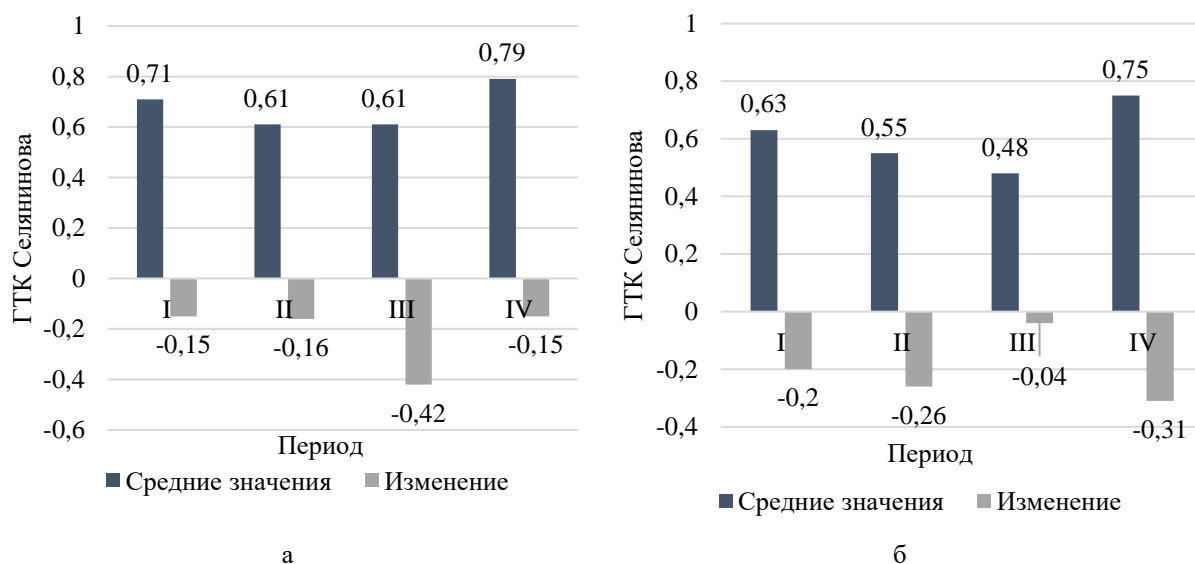


Рисунок 2 – Средние значения ГТК Селянинова и их изменения по отдельным периодам вегетации (1990–2020 гг.)

Примечания: I – за период со среднесуточной температурой выше 10 °С; II – за май–август; III – за август–сентябрь; IV – за апрель–июнь; а – в степной зоне Волгоградской области; б – в степной зоне Оренбургской области.

Анализ урожайности озимой пшеницы в обозначенный период в Оренбургской и Волгоградской области, также, как и в России в целом, выявил ее значительную вариабельность по годам, составившую 31,9–21,3–17,3 % соответственно. При средней урожайности по стране 3,05 т/га размах ее вариации оказался равен 2,05 т/га – от 2,12 (2003 г.) до 4,17 (2007 г.) т/га. В Волгоградской области разница между минимальными и максимальными значениями урожайности при средней величине 2,32 т/га составила 1,95 т/га, а в Оренбургской области, при 1,61 т/га – 1,98 т/га. Урожайность озимой пшеницы по стране оказалась сильно связанной с урожайностью в Волгоградской области ($r = 0,81$) и в средней степени, связанной с урожайностью в Оренбургской области ($r = 0,58$).

Следует отметить, что реализация биологической продуктивности озимой пшеницы в анализируемый период характеризовалась зональными особенностями. Если в целом по стране урожайность зерна выше средней (3,05 т/га) была получена только в 38,7 % лет, то в Волгоградской области (2,32 т/га) это отмечено в 52,3 % лет, а в Оренбургской (1,61 т/га) – в 47,6 %. Напротив, урожайность, составившую 75 % от максимальной в Волгоградской области, отмечали только в 33,2 % лет и в Оренбургской области в 14,3 % лет при общероссийском показателе 38,1 %.

Корреляционно-регрессионный анализ урожайных данных выявил связь полноты реализации биологической продуктивности озимой пшеницы с метеорологическими условиями периода вегетации, из которых в наибольшей степени она связана с количеством атмосферных осадков, детерминирующих 40,6 % (Волгоградская область) – 44,2 % (Оренбургская область) ее вариации. Приоритетность атмосферных осадков в реализации биологической продуктивности озимой пшеницы в Волгоградской области имеет следующую последовательность (в порядке снижения степени влияния): сумма осадков за период с августа по июнь – с апреля по июнь – с августа по сентябрь – с октября по март. В Оренбургской области последовательность несколько иная, обозначающая приоритет осадков холодного

периода года: сумма осадков за период с августа по июнь – с октября по март – с апреля по июнь и с августа по сентябрь.

Таким образом, в процессе анализа обширной базы данных по метеорологическим условиям тридцатилетнего периода наблюдений (1990–2020 гг.) в степной зоне Волгоградской и Оренбургской областей выявлена их значительная вариабельность по годам и устойчивая тенденция к повышению засушливости климата, связанная как со снижением количества атмосферных осадков теплого периода года, так и с повышением радиационных ресурсов. Отмечающаяся на этом фоне низкая реализация биологической продуктивности озимой пшеницы с целью поддержания продовольственной безопасности населения предполагает адаптацию технологий ее возделывания к изменяющемуся климату в направлении повышения урожайности на пригодных для обработки почвах. Выведение из оборота низкопродуктивных земель при подобном подходе будет также способствовать восстановлению высокой титульности степей и их биологического разнообразия.

Выводы

В степной зоне Оренбургской и Волгоградской области РФ, принимающих весомое участие в производстве зерна озимой пшеницы, за истекший тридцатилетний период (1990–2020 гг.) отмечена положительная динамика среднесуточной температуры воздуха, составившая 1,6–2,3 °С в среднем за год, 2,5–3,5 °С – за период осенней вегетации и 1,1–2,4 °С – в весенне-летнюю вегетацию. При нулевом балансе количества атмосферных осадков теплого периода года в Волгоградской области и некотором их повышении (на 50 мм) в холодный период, в Оренбургской области наблюдали их устойчивое снижение – на 32 и 26 мм соответственно. На фоне возросшей на 395 °С (Оренбургская область) – 580 °С (Волгоградская область) суммы активных температур, ГТК Селянинова снизился на 0,20–0,15 единиц, в отдельные периоды вегетации озимой пшеницы перешагнувший критическую черту, вплотную приблизившись к оценке зоны возделывания как «сухой», обычно соответствующей полупустыне.

Реализация биологической продуктивности озимой пшеницы в наибольшей степени связана с количеством атмосферных осадков, детерминирующих 40,6 % (Волгоградская область) – 44,2 % (Оренбургская область) ее вариации. В Оренбургской области приоритет имеют годовые осадки в целом и осадки холодного периода, в Волгоградской области – годовые осадки и осадки весенне-летнего периода.

В соответствии с выявленными тенденциями повышения засушливости климата и зональными особенностями в реализации биологического потенциала озимой пшеницы при разработке адаптивных технологий ее возделывания следует уделять особое внимание внедрению местных засухоустойчивых и жаростойких сортов, эффективно использующих скудные ресурсы влаги на формирование урожая. Всеячески (на региональном и государственном уровне) способствовать активизации их селекции и семеноводства, поддерживать финансирование и техническое оснащение опытных полей НИИ и ВУЗов соответствующего профиля, популяризовать подготовку кадров агрономического профиля, как проводников научных знаний в современное земледелие. Не менее важно осуществление всего комплекса мероприятий, способствующих сохранению осадков холодного периода – снегозадержание, посев кулис из высокостебельных растений, развитие полезащитного лесоразведения. Целесообразно также проведение весенне-летних мероприятий, позволяющих рационально использовать осадки как теплого, так и холодного периода – уборка очесывающими жатками, полосная обработка почвы (strip-till), мульчирующий посев в необработанную почву (no-till), эффективная борьба с сорняками.

Подобный подход, направленный на повышение реализации биологического потенциала адаптивных сортов озимой пшеницы и основанный на инновационных методах умного земледелия [20], может способствовать выводу из обработки неустойчивых пахотных угодий, переводу их в сенокосные или пастбищные угодья, повышению титульности степей и поддержанию их биологического разнообразия.

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. Keating B. A., Herrero M., Carberry P. S., Gardner J., Cole M. B. Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050 // *Global Food Security*. 2014. Vol. 3. No. 3–4. P. 125–132. DOI: 10.1016/j.gfs.2014.08.004.
2. Grundy M. J., Bryan B. A., Nolan M., Battaglia M., Hatfield-Dodds S., Connor J. D., Keating B. A. Scenarios for Australian agricultural production and land use to 2050 // *Agricultural Systems*. 2016. No. 142. P. 7–83. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.11.008.
3. Гулянов Ю. А. Влияние регуляторов роста растений на реализацию ресурсного потенциала агроценозов озимой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2007. № 3(66). С.150–154.
4. Чухнина Н. В., Зудилин С. Н. Структура урожая и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от органических удобрений в условиях Среднего Поволжья // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. Т. 6. № 3. С. 9–15.
5. Collins B., Chenu K. Improving productivity of Australian wheat by adapting sowing date and genotype phenology to future climate // *Climate Risk Management*. 2021. No. 32. P. 100300. DOI: 10.1016/j.crm.2021.100300.
6. Передериева В. М., Власова О. И., Вольтерс И. А. Влияние озимой пшеницы на сорные растения в агрофитоценозе по различным предшественникам // *Электронный научный журнал*. 2019. № 9(29). С. 31–34.
7. San Martin K., Long D. S., Gourlie J. A., Barroso J. Spring crops in three-year rotations reduce weed pressure in winter wheat // *Field Crops Research*. 2019. No. 233. P. 12–20. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.017.
8. Гулянов Ю. А., Чибилев А. А., Чибилев А. А (мл). Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 15. № 1. С. 79–88. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88.
9. Салтыкова О. Л., Зудилин С. Н. Возделывание озимой пшеницы для получения зерна высокой белковости в условиях Среднего Поволжья // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 1. С. 3–9.
10. Li Q., Chang X., Meng X., Li D., Zhao M., Sun S., Li H., Qiao W. Heat Stability of winter wheat depends on cultivars, timing and protective methods // *Journal of Integrative Agriculture*. 2020. No. 19(8). P. 1984–1997. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62760-7.
11. Радченко Л. А., Радченко А. Ф., Ганоцкая Т. Л., Алексеенко А. В. Изучение сортов озимой пшеницы для сортосмены в Республике Крым // *Таврический вестник аграрной науки*. 2020. № 2(22). С. 125–133. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-125-133.
12. Горянин О. И., Мадякин Е. В., Джангабаев Б. Ж., Яковлева Н. А. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в засушливых условиях Поволжья // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 1 (73). С. 52–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-52-56.
13. Филенко Г. А., Фирсова Т. И., Марченко Д. М. Посевная площадь и урожайность озимой пшеницы // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 6 (148). С. 61–69.
14. ЕМИСС. Государственная статистика. Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчете на убранную площадь). [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения 22.07.2021).
15. Егушова Е. А., Кондратенко Е. П. Сортовая структура озимой пшеницы в Кемеровской области и ее роль в повышении урожайности // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012. № 6 (92). С. 20–23.
16. Абаимов В. Ф., Соболин Г. В., Сатункин И. В., Гулянов Ю. А., Коровин Ю. И. Экологические проблемы России и Оренбургской области // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2005. № 4(8). С. 7–10.
17. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A., Levykin S. V., Silantieva M. M., Kazachkov G. V., Sokolova L. V. Ecological-based adaptation of agriculture to the soil and climatic conditions in Russian steppe // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3). P. 393–398.

18. Осадки и температура. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/aisori/select.xhtml> (дата обращения 10.07.2021).

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

20. 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.

References

1. Keating B. A., Herrero M., Carberry P. S., Gardner J., Cole M. B. Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050 // *Global Food Security*. 2014. Vol. 3. No. 3–4. P. 125–132. DOI: 10.1016/j.gfs.2014.08.004.

2. Grundy M. J., Bryan B. A., Nolan M., Battaglia M., Hatfield-Dodds S., Connor J. D., Keating B. A. Scenarios for Australian agricultural production and land use to 2050 // *Agricultural Systems*. 2016. No. 142. P. 7–83. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.11.008.

3. Gulyanov Yu. A. The Influence of plant growth regulators on realization of resource potential of winter wheat agrocoenosis at conditions of Orenburg Predural // *Vestnik of the Orenburg State University*. 2007. No. 3(66). P. 150–154.

4. Chukhnina N. V., Zudilin S. N. Yield structure and grain grading of winter wheat depending on organic fertilizers in the middle Volga Forest-Steppe Region // *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2021. Vol. 6. No. 3. P. 9–15.

5. Collins B., Chenu K. Improving productivity of Australian wheat by adapting sowing date and genotype phenology to future climate // *Climate Risk Management*. 2021. No. 32. P. 100300. DOI: 10.1016/j.crm.2021.100300.

6. Perederieva V. M., Vlasova O. I., Volters I. A. Influence of winter wheat on weeds in agrophytocenosis by various precursors // *Electronic scientific journal*. 2019. No. 9(29). P. 31–34.

7. San Martin K., Long D. S., Gourlie J. A., Barroso J. Spring crops in three-year rotations reduce weed pressure in winter wheat // *Field Crops Research*. 2019. No. 233. P. 12–20. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.017.

8. Gulyanov Yu. A., Chibilyov A. A., Chibilyov A. A. (jr.). Reserves for increasing yield and quality of winter wheat grain and their dependence on the heterogeneity of crops in the conditions of the steppe zone of the Orenburg Urals // *South of Russia: ecology, development*. 2020. Vol. 15. No. 1. P. 79–88. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88.

9. Saltykova O. L., Zudilin S. N. Winter wheat cultivation with high protein production in the Middle Volga Region // *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2020. No. 1. P. 3–9.

10. Li Q., Chang X., Meng X., Li D., Zhao M., Sun S., Li H., Qiao W. Heat stability of winter wheat depends on cultivars, timing and protective methods // *Journal of Integrative Agriculture*. 2020. No. 19(8). P. 1984–1997. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62760-7.

11. Radchenko L. A., Radchenko A. F., Ganotskaya T. L., Alekseenko A. V. Study of the winter wheat varieties for variety changing in the Republic of Crimea // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2020. No. 2(22). P. 125–133. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-125-133.

12. Goryanin O. I., Madyakin E. V., Dzhangabaev B. Z. H., Yakovleva N. A. The improvement of winter wheat cultivation technology in arid conditions of the Povolzhie // *Grain Economy of Russia*. 2021. No. 1 (73). P. 52–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-52-56.

13. Filenko G. A., Firsova T. I., Marchenko D. M. Winter wheat cultivated area and productivity // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016. No. 6 (148). P. 61–69.

14. EMISS. State statistics. Crop yield (per harvested area). [Electronic resource]. Access point: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (reference's date 22.07.2021).

15. Egushova E. A., Kondratenko E. P. Varietal structure of winter wheat in the Kemerovo region and its role in increasing productivity // *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012. No. 6 (92). P. 20–23.

16. Abaimov V. F., Sobolin G. V., Satunkin I. V., Gulyanov Yu. A., Korovin Yu. I. Ecological problems of Russia and the Orenburg region // *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2005. No. 4(8). P. 7–10.

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

18. Precipitation and temperature. [Electronic resource]. Access point: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml> (reference date 10.07.2021).

19. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

20. Gulyanov Yu. A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crops scanning methods // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019. No. 3(19). P. 64–76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76.

UDC 633.11: 551.5

Gulyanov Yu. A.

CHANGES IN REGIONAL CLIMATIC CONDITIONS AND PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT IN THE STEPPE ZONE OF EUROPEAN RUSSIA

Summary. *Monitoring of climatic conditions is necessary to determine the degree of their change and to develop methods for optimizing the interaction of natural and socio-economic systems aimed at maintaining food security without harming the environment. The purpose of the research was to analyze long-term climatic trends and assess their impact on the productivity of winter wheat in the model regions (Orenburg and Volgograd regions) of the steppe zone of European Russia for the period from 1990 to 2020. Statistical processing was carried out by the method of correlation and regression analysis. The variability of the studied meteorological parameters and the yield of winter wheat over the years was estimated using the coefficient of variation. The positive dynamics of the average daily air temperature was revealed. It was 1.6–2.3 °C on average per year, 2.5–3.5 °C during the autumn growing season (August–September) and 1.1–2.4 °C in spring-summer growing season (April–June). A steady precipitation decrease in the warm period of the year in the Orenburg region (by 32 mm) and their zero balance in the Volgograd region against the background of an increased sum of active temperatures or growing degree days (by 395–580 °C) led to a decrease in the Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) by 0.15–0.20 units. In some periods of vegetation, the HTC values approached the level “dry” in the cultivation zone assessment. Typically, winter wheat productivity depends on zonal features. In the Volgograd region, grain yield exceeding the average (2.32 t/ha) was obtained in 52.3 % of years; in the Orenburg region (1.61 t/ha) – in 47.6 % of years. The yield that amounted to 75% of the maximum was noted in 33.2 % of years in the Volgograd region, in the Orenburg region – in 14.3 % of years (all-Russian indicator – 38.1 %). The realization of the biological productivity of winter wheat is more related to the amount of precipitation, which determines 40.6% (Volgograd region) and 44.2% (Orenburg region) of its variations. In the Orenburg region, annual precipitation in general and those of the cold period have priority; in the Volgograd region – annual precipitation and precipitation of the spring-summer period.*

Keywords: *climatic changes, steppe zone, Triticum aestivum L., winter wheat, biological productivity realization, cultivation technologies.*

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

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

Дата поступления в редакцию – 24.09.2021.

Дата принятия к печати – 15.10.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-69-81

УДК 332.14:504.03

Дунаева Е. А., Попович В. В., Вечерков В. В.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Для развития АПК необходимо применять новые современные методологические подходы, которые позволят более точно проводить выбор и формирование направлений социально-экономического развития сельских территорий при условии улучшения их интегрального экосистемного состояния. Данная статья посвящена вопросам разработки методологии поиска, отбора, расчета ключевых параметров и интегральных показателей, оказывающих существенное влияние на уровень состояния и развития сельских территорий. Цель исследования – изучение возможностей комплексирования оценок, основанных на обработке материалов статистической отчетности и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Новизна работы состоит в отработке методологического подхода использования данных статистической отчетности и косвенных данных ДЗЗ об уровне биопродуктивности территории (чистая первичная продукция) на различных уровнях пространственного анализа сельских территорий (от уровня сельского поселения и выше). С использованием современного программного обеспечения (ПО) созданы БД показателей экосистемного состояния сельских территорий для различных уровней интеграции (от сельского поселения и выше), рассчитаны сопоставимые показатели уровня их текущего состояния и разработаны процедуры пространственной визуализации результатов расчета для пилот-районов и Крыма в целом. Показатель социально-экономического направления в 2020 г. для Крыма по сравнению с 2019 г. снизился на 7 %, и только для Кировского и Ленинского районов остался на прежнем уровне. При учете экологического индикатора обобщенный интегральный показатель экосистемного состояния территорий снизился на 3,9 % и ухудшился практически для всех районов (кроме Кировского). Задействование спутниковой информации для анализа динамики развития сельских территорий показало наличие продолжающегося негативного тренда в годовых показателях биопродуктивности (около 0,4 % в среднем за год для периода 2000–2020 гг.). Для возможности доступа к имеющейся информации стороннему пользователю с целью проведения аналитической либо управленческой деятельности, все данные визуализации реализованы через серверную web-платформу с использованием программного ГИС-продукта – NextGISWeb.

Ключевые слова: сельские территории, устойчивое развитие, показатели развития, ГИС-технологии, визуализация, чистая первичная продукция, MODIS, NPP.

Для цитирования: Дунаева Е. А., Попович В. В., Вечерков В. В. Методологические подходы к оценке состояния сельских территорий // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 69–81. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-69-81.

For citation: Dunaieva Ie. A., Popovich V. V., Veчерkov V. V. Methodological approaches to assessing the the condition of rural areas // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 69–81. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-69-81.

Введение

В настоящее время обеспечение и реализация развития сельских территорий должны осуществляться при условии учета исходного состояния всех имеющихся

ресурсов: экономического, человеческого и культурного капитала, природных ресурсов и сохранения экологического баланса на территориях [1].

Решение этой задачи определяется системным подходом и заключается в выявлении основных факторов развития, выделении показателей, позитивно или негативно влияющих на устойчивость развития, среди которых можно выделить основные группы: экономические, социальные, экологические факторы, которые должны быть детально проанализированы и интерпретированы, чтобы сделать выводы относительно степени и потенциала устойчивости данной территории [2]. В настоящее время понятие «устойчивое развитие» приобрело глобальный характер. Так, на состоявшейся в 2015 г. Генеральной Ассамблее ООН в рамках Саммита ООН по устойчивому развитию была принята Программа устойчивого развития до 2030 г., в которой намечены семнадцать целей устойчивого развития (ЦУР) и 169 целевых задач, позволяющих мировым странам измерять, контролировать и отслеживать прогресс в экономической, социальной и экологической устойчивости [3].

Проблемы устойчивого развития сельских территорий изучены и изложены во многих работах отечественных и зарубежных ученых. В своих работах они рассматривают вопросы экономического развития сельских территорий, повышения благосостояния сельского населения [4–7].

Современное состояние сельских территорий, характеризующееся интегральными показателями устойчивого развития, сопоставимыми индексами и коэффициентами, отражено в работах [7–10].

Уровень адаптационного потенциала сельских территорий оценивается различными методами путем расчета интегральных показателей с использованием модифицированного индекса Мацциотто-Парето [11], расчета количественной оценки уязвимости сельских поселений [12], оценки устойчивости развития сельских территорий по методу экспресс-анализа [13], расчета, основанного на концепции экологической пригодности [14].

В своих работах [15–17] ученые предлагают применение современных форсайт-технологий для сельских территорий, позволяющих осуществлять планирование и прогнозирование их развития.

Вопросам эколого-социально-экономического развития Крыма посвящены труды многих ученых [18–22]. В них рассматриваются общие проблемы устойчивого развития Республики Крым в целом, а также сельских территорий полуострова. Особое внимание уделяется вопросам экологии Крыма.

Цель исследований – изучение возможностей комплексирования оценок, основанных на обработке материалов статистической отчетности и на данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Задачи данного исследования заключаются в совершенствовании методологических подходов к оценке уровня адаптации сельских территорий к изменению условий хозяйственной деятельности, а также в отработке инструментария поиска и возможной реализации механизмов повышения эффективности развития сельских территорий на уровне муниципальных районов и сельских поселений на базе использования сопоставимых интегральных критериев развития, выявление связи интегральной оценки экосистемного состояния территории с уровнем вариации основных групп показателей/параметров в современных условиях хозяйствования.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2017–2020 гг. На начальном этапе отобрали три пилот-района (Джанкойский, Красногвардейский, Сакский), расположенных в различных частях степной зоны Крымского полуострова, что позволило снизить объем сбора и обработки первичной информации при апробации отдельных процедур и подходов к решению задачи мониторинга уровня развития сельских территорий. В

дальнейшем методологию отработывали для всех муниципальных районов Крыма и проводили сравнение с Республикой Крым (РК) в целом.

При выполнении работ использовали методику интеграции статистической информации, средств и инструментов территориального планирования и данных ДЗЗ для мониторинга показателей уровня текущего состояния и формирования направлений стратегического развития сельских территорий на базе экосистемного подхода.

При проведении исследований использовали методы экономической науки: статистико-экономический, который предусматривает мониторинг и сбор статистических материалов, анализ и использование существующих данных об изучаемом явлении; метод экономического сравнения (сопоставления) и накопления информации (создание баз данных); метод группировки; расчетно-конструктивный, который включает расчет экономических коэффициентов и показателей; пространственную визуализацию результатов.

Расчеты проводили, используя статистические данные за 2018–2020 гг., приведенные в стоимостном и натуральном выражении (рисунок 1) [23].

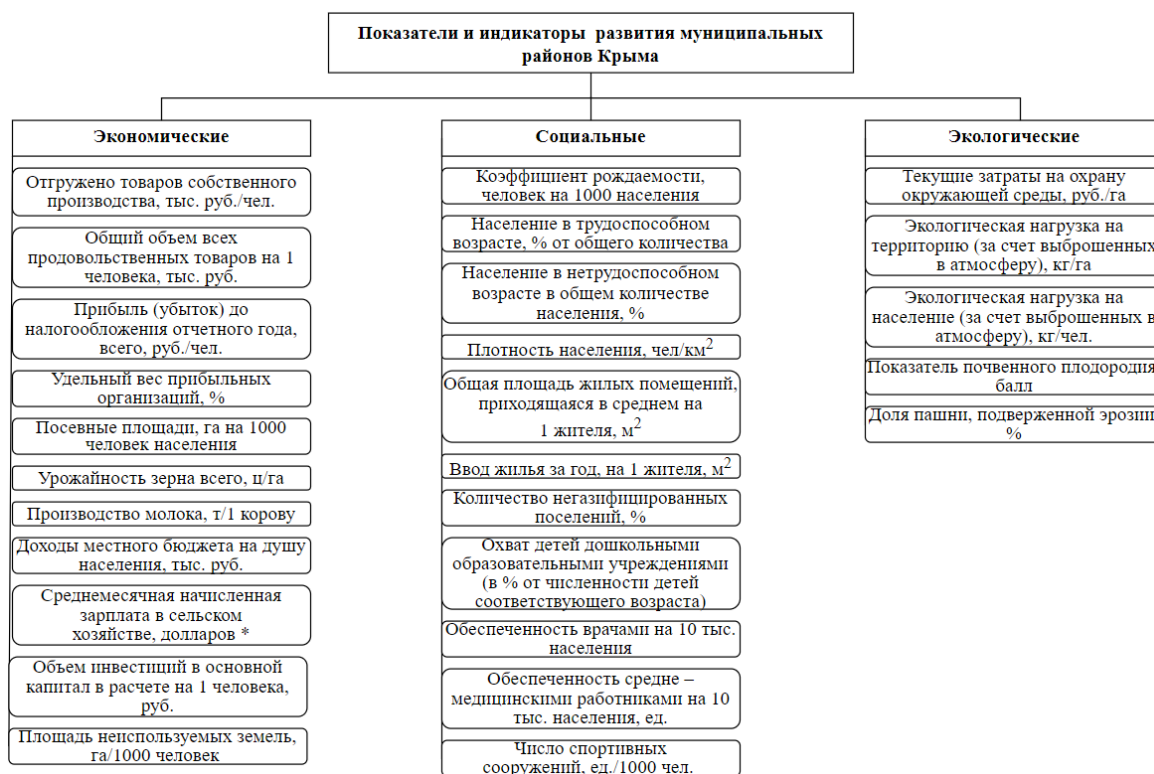


Рисунок 1 – Основные показатели развития муниципальных районов

Примечание. * средняя зарплата в сельском хозяйстве приведена в долларах США для возможности сравнения с другими периодами.

Для проведения расчетов по оценке интегрального состояния сельских территорий необходимо осуществить подготовительные работы по сбору исходных данных в различных источниках информации и выполнить несколько циклов расчетов, включая обработку полученной информации, расчет коэффициентов по направлениям развития и комплексного интегрального показателя.

Для проведения расчетов на уровне районов сбор информации о фактических значениях отдельных показателей формируется на основе данных официальной статистической отчетности ФСГС по Республике Крым [23]. Для уровня сельских

поселений используется несколько источников информации, включая кроме статистической отчетности, также находящуюся в открытом доступе информацию районных администраций и районных Советов. Формирование баз данных показателей развития регионов осуществляется по трем направлениям: экономическому, социальному и экологическому.

Перевод индексов в относительные величины можно проводить несколькими методами. Так, при сопоставлении между собой небольшого количества объектов наблюдений (например, трёх пилот-районов) возможно применение метода парных сравнений (алгоритм Саати) [24, 25], который предполагает шкалу парных сравнений от 1 до 9, что дает возможность выявить не только лучший, средний, худший показатель, но и принять в расчет различие между ними – насколько сильнее то или иное значение показателя отличается от середины выборки. На основе полученной шкалы диапазонов заполняется матрица парных сравнений размерностью $m \times n$, где m – число строк, n – число столбцов [26]. В нашем случае (сравнение трех пилот-районов) матрица выглядит таким образом:

	A1	A2	A3
A1	a11	a12	a13
A2	a21	a22	a23
A3	a31	a32	a33

После составления матрицы для каждого показателя и проведения расчетов по ним определяют агрегированные индикаторы по каждой группе показателей и общий интегральный индекс для каждого пилот-района.

Для большого ряда сравниваемых показателей наиболее эффективна рейтинговая оценка, она также включает в расчет коэффициенты 0 и 1, значительно влияющие на окончательный результат при небольшом количестве показателей [10]. Расчет относительных безразмерных значений показателей в каждой группе направлений развития (экономическое, социальное, экологическое) производят по формулам (1, 2). Если связь между критерием оценивания и уровнем развития прямая, то используют формулу (1):

$$Y_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

в случае обратной связи в расчетах используют формулу (2):

$$Y_i = 1 - \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

где Y_i – относительное значение показателя;

X_i – фактическое значение показателя;

X_{min} – худшее значение показателя;

X_{max} – лучшее значение показателя.

Рейтинговые показатели по каждому направлению рассчитывали как среднее арифметическое, учитывая нулевые значения коэффициентов (формула 3):

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (3)$$

где E – рейтинговый агрегированный показатель определенного направления развития;

Y_i – относительное значение показателей;

n – количество показателей.

Интегральный индикатор устойчивого развития рассчитывают, как среднее геометрическое индикаторов социального, экономического и экологического развития и, при количестве агрегированных показателей равном трем, расчет выполняют по формуле 4:

$$I_{\text{интегр.}} = \sqrt[3]{E_{\text{экон.}} \times E_{\text{соц.}} \times E_{\text{экол.}}} \quad (4)$$

где $I_{\text{интегр.}}$ – интегральный индикатор устойчивого развития;

$E_{\text{экон.}}$ – индикатор экономического развития;

$E_{\text{соц.}}$ – индикатор социального развития;

$E_{\text{экол.}}$ – индикатор экологического развития.

Для получения сопоставимых значений индикатора социально-экономического состояния Крыма с другими регионами производят расчет промежуточного индикатора социально-экономического развития полуострова с использованием только двух показателей – $E_{\text{экон.}}$ и $E_{\text{соц.}}$. Полученное итоговое для РК значение сравнивали со значением индикативного показателя для Крыма по РИА-Рейтинг [27]. Если эти показатели различались, то осуществляли пропорциональный перерасчет значений агрегированных индикаторов по этим двум направлениям для всех районов и Крыма в целом.

Для визуализации оценок состояния территорий и их сопоставимого сравнения созданы гео-базы данных пространственной информации в среде ГИС (QGIS 2.18).

В общем количестве органической продукции, продуцируемой экосистемой на определенной территории, можно выделить часть продукции, производимой на сельскохозяйственных землях. При этом, как и для экосистемы в целом, для агроэкосистемы соотношение общего (валового) количества органического вещества, продуцируемого агроэкосистемой, и его количества (нетто) с учетом затрат на потери при дыхании выражается следующим уравнением (5):

$$NPP = GPP - R_a \quad (5)$$

где: GPP – валовая первичная продукция,

NPP – чистая первичная продукция,

R_a – потери органического вещества при дыхании.

Чистая первичная продукция (Net Primary Productivity, NPP) является базовым параметром, характеризующим количество солнечной энергии, конвертированной в процессе фотосинтеза в органическое вещество растений, и измеряемой в единицах энергии или в количестве углерода, аккумулированного в биомассе растений. Мониторинг динамики его годовых значений для земель сельскохозяйственного назначения позволяет оценить баланс углерода и возможное влияние направленности трендов его производства на экосистемное состояние территории, включая уровень биопродуктивности, почвенное плодородие и так далее, а также получать сопоставимые оценки данного параметра с другими регионами.

Данные о годовых значениях NPP, полученные по результатам обработки спутниковых сцен сенсора MODIS, выгружены из центра дистрибуции данных LPDAAC (The Land Process Distributed Active Archive Center) [28], который является одним из нескольких, ориентированных на определенную отрасль знания, центров данных в системе данных о Земле NASA (NASA Earth Observing System Data and Information System, EOSDIS). Архив LPDAAC расположен в центре Науки и наблюдений за ресурсами Земли (USGS Earth Resources Observation and Science, EROS) Геологической службы США в Су-Фолс (Sioux-Falls), Южная Дакота. Одной из возможностей доступа к данным данного архива является инструмент AppEEARS (The Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples), который представляет эффективный инструмент доступа и преобразования геопространственных данных из различных архивов федерального уровня США.

Результаты и их обсуждение

Для проведения расчетов по оценке интегрального состояния сельских территорий необходимо провести подготовительные работы по сбору исходных данных, которые находятся в различных источниках информации, и выполнить

несколько циклов расчетов, включая обработку полученной информации, расчет коэффициентов по направлениям развития и комплексного интегрального индикатора.

Для проведения расчетов на уровне районов сбор информации о фактических значениях отдельных показателей формируется на основе данных официальной статистической отчетности [23]. Для уровня сельских поселений используют несколько источников информации, включая, кроме статистической отчетности, также находящуюся в открытом доступе информацию районных администраций и районных Советов. Формирование баз данных показателей развития регионов осуществляется по трем направлениям: экономическому, социальному и экологическому. Первичная апробация методологии сравнения уровней развития трех пилот-районов была проведена с использованием алгоритма Саати [24, 25].

Результаты расчета показателей внутри каждого направления развития методом парных сравнений для пилот-районов по данным за 2018 г. приведены в таблице 1 (интегральный индикатор рассчитан как среднее геометрическое).

Дальнейшие исследования показали, что этот метод не дает реальную картину уровня развития регионов, которую можно использовать для сопоставимого анализа с другими регионами и территориями, если они не включены в состав матриц. Он применим только для относительного сравнения отдельных территорий или районов между собой, кроме того, при увеличении количества объектов сравнения резко возрастает объем матриц и соответственно вычислительная нагрузка при реализации алгоритма.

Использование рейтингового метода показало лучшие возможности как по проведению сравнения с другими территориями, так и по снижению затрат времени на обработку данных. При этом расчет коэффициентов оценки степени текущего состояния внутри каждого направления развития включал перевод каждого показателя в относительные значения (от 0 до 1), поэтому показатели по трем направлениям развития рассчитывали, как среднее арифметическое, а интегральные индикаторы – как среднее геометрическое (формулы 1–4).

Таблица 1 – Расчет интегральных показателей методом сравнения парных матриц (данные 2018 г.)

Индикатор	Район		
	Джанкойский	Красногвардейский	Сакский
Экономический	0,177	0,383	0,230
Социальный	0,204	0,357	0,249
Экологический	0,440	0,110	0,210
Интегральный	0,251	0,247	0,229

Для совместимости с другими регионами и с РФ в целом полученные оценки пересчитаны с приведением их к значению индекса за соответствующий период, представляемого рейтинговым агентством «РИА Рейтинг», которое разрабатывает рейтинг социально-экономического положения территорий, построенный на основе агрегирования ключевых показателей регионального развития, что позволяет дать ответ на вопрос об относительном положении в рейтинге того или иного региона, определить диспропорции в уровне регионального развития [28]).

Разработка показателей устойчивого развития возможна на разных уровнях: федеральном, региональном, местном. На этих уровнях могут быть разработаны свои собственные системы показателей, обладающие индивидуальными особенностями. К числу таких показателей принадлежат экологические показатели, которые в большей мере отражают региональную специфику. Учитывая данную особенность экологического индикатора, а также необходимость иметь ряд показателей,

сопоставимых с другими регионами, в работе использован двухэтапный пошаговый расчет, на первом этапе которого рассчитывается интегральный показатель социально-экономического развития районов и региона в целом, который сравнивается с аналогичной оценкой более высокого (федерального) уровня. При расхождении данных оценок региональную оценку приравнивали к оценке более высокого уровня и производили перерасчет по каждому из направлений (социальному и экономическому) для Крыма в целом и для каждого из районов. Результаты расчетов за 2018–2020 гг. сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет индикаторов развития районов и Республики Крым за 2018–2020 гг. по трем направлениям

Индикатор	Год	Показатель по районам													РК*, всего	
		Бахчисарайский	Белогорский	Джанкойский	Кировский	Красногвардейский	Красноперекопский	Ленинский	Нижнегорский	Первомайский	Раздольненский	Сакский	Симферопольский	Советский		Черноморский
Экономический	2018	0,30	0,29	0,17	0,20	0,35	0,24	0,26	0,18	0,24	0,18	0,25	0,32	0,18	0,19	0,47
	2019	0,23	0,19	0,21	0,24	0,40	0,27	0,25	0,26	0,29	0,26	0,20	0,25	0,20	0,19	0,41
	2020	0,25	0,22	0,20	0,19	0,40	0,17	0,27	0,18	0,28	0,27	0,21	0,30	0,18	0,18	0,40
Социальный	2018	0,37	0,31	0,36	0,37	0,34	0,27	0,24	0,32	0,30	0,34	0,32	0,38	0,32	0,29	0,38
	2019	0,35	0,27	0,31	0,22	0,30	0,23	0,23	0,31	0,26	0,30	0,35	0,38	0,31	0,29	0,45
	2020	0,24	0,18	0,26	0,29	0,24	0,24	0,21	0,23	0,17	0,24	0,28	0,27	0,21	0,23	0,40
Экологический	2018	0,61	0,58	0,64	0,66	0,76	0,34	0,54	0,70	0,63	0,52	0,51	0,44	0,63	0,44	0,74
	2019	0,63	0,64	0,61	0,64	0,70	0,34	0,63	0,71	0,64	0,55	0,54	0,49	0,53	0,51	0,71
	2020	0,60	0,56	0,63	0,62	0,69	0,36	0,54	0,73	0,60	0,52	0,44	0,53	0,59	0,37	0,72
Интеграл. (соц.-экон.)	2018	0,33	0,30	0,25	0,27	0,34	0,25	0,25	0,24	0,27	0,25	0,28	0,35	0,24	0,23	0,42
	2019	0,28	0,23	0,26	0,23	0,35	0,25	0,24	0,28	0,27	0,28	0,26	0,31	0,25	0,23	0,43
	2020	0,25	0,20	0,23	0,23	0,31	0,20	0,24	0,20	0,22	0,25	0,24	0,28	0,19	0,20	0,40
Интегральный	2018	0,41	0,37	0,34	0,37	0,45	0,28	0,32	0,34	0,36	0,32	0,34	0,38	0,33	0,29	0,51
	2019	0,37	0,32	0,34	0,32	0,44	0,28	0,33	0,39	0,36	0,35	0,34	0,36	0,32	0,30	0,51
	2020	0,33	0,28	0,32	0,32	0,40	0,24	0,31	0,31	0,31	0,32	0,30	0,35	0,28	0,25	0,49

В целом для Республики Крым индикатор социально-экономического направления в 2020 г. снизился на 7 % по сравнению с 2019 г., при этом стабильная ситуация наблюдается в Кировском и Ленинском районах. При этом уровень оценок социально-экономического развития за 2018 г. для соответствующих таблице 1 (расчет по алгоритму Саати) пилот-районов при интегральной рейтинговой оценке (таблица 2) существенно выше для Красногвардейского и Сакского районов.

Расчет интегральных индикаторов для всех районов с учетом экологического направления приведен в нижней части таблицы 2. Учитывая специфику и индивидуальность экологии Крымского полуострова, экологический индикатор принят без пересчета. При учете экологического индикатора общий интегральный показатель для Крыма в целом снизился по сравнению с 2019 г. на 3,6 %.

Для визуального представления результатов расчетов в облачном хранилище NextGIS создана Web-платформа «Интегральные показатели развития сельских территорий» (<http://integraldb.nextgis.com/resource/18/display?panel=layers>). Созданная ГИС содержит в себе слои информации по экономическим, экологическим, социальным и интегральным показателям развития территорий сельских поселений

трех пилот-районов (Джанкойского, Красногвардейского и Сакского) и всех муниципальных районов Крыма в целом.

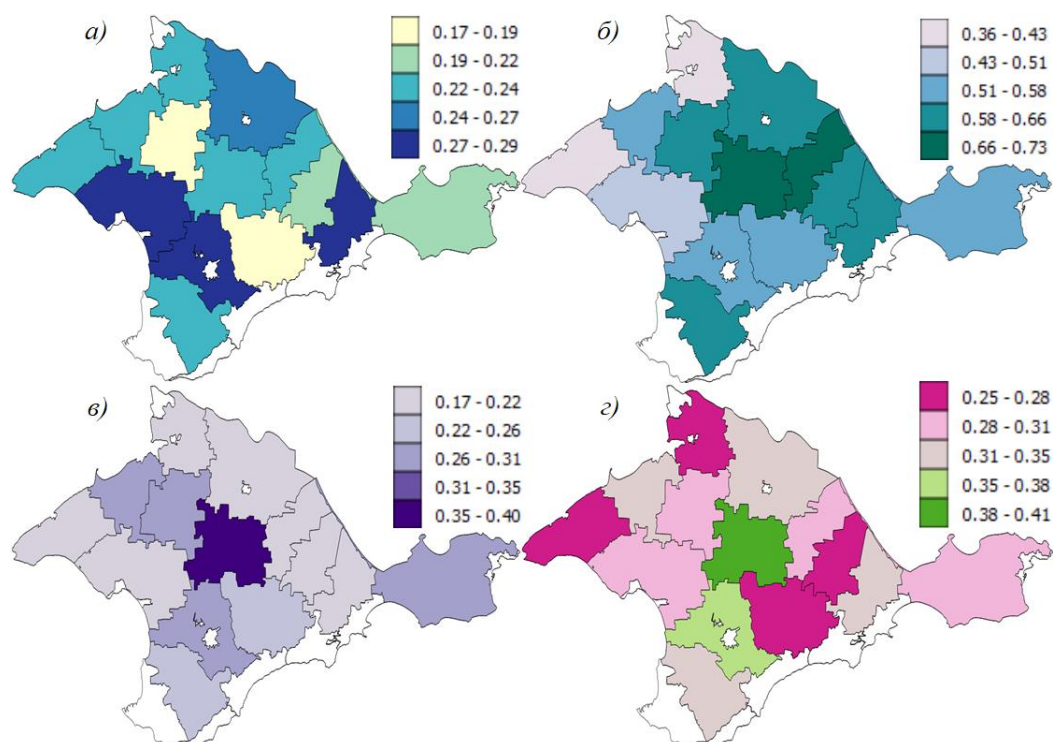


Рисунок 2 – Социальный (а), экологический (б), экономический (в) и интегральный (г) показатели развития районов Крыма (на 01.01.2021)

Для оценки интегральных индикаторов развития сельских поселений внутри районов используется аналогичный описанному выше подход – используя векторные маски границ сельских поселений создаются базы данных в рамках трех групп показателей (экономические, социальные, экологические), затем, используя зависимости (1, 2), физические значения показателей переводятся в относительные значения, для которых по каждому направлению определяется рейтинговый агрегированный индикатор (формула 3) и, далее, интегральный индикатор устойчивого развития для каждого из сельских поселений (формула 4). На рисунке 3 приведен пример визуализации результатов расчета экономического и интегрального индикаторов для сельских поселений Джанкойского, Красногвардейского и Сакского районов по данным за 2019 г.

Использование однотипной методологии для мониторинга и анализа территориальных объектов от уровня поселения и выше имеет несомненные преимущества в плане получения сопоставимых оценок на разных уровнях. Вместе с тем, на нижнем уровне (сельское поселение) отсутствует или является труднодоступным большой перечень стандартизированной статистической информации, доступной от уровня района и выше (то есть, объем используемой для анализа информации существенно ниже, что может приводить к искаженным и трудно сопоставимым оценкам). Для повышения уровня информационной обеспеченности на нижнем уровне анализа может быть дополнительно использована спутниковая информация, одним из возможных источников которой являются данные о годовой динамике чистой первичной продукции, получаемые по результатам обработки данных сенсора MODIS (разрешение 500 м) [25].

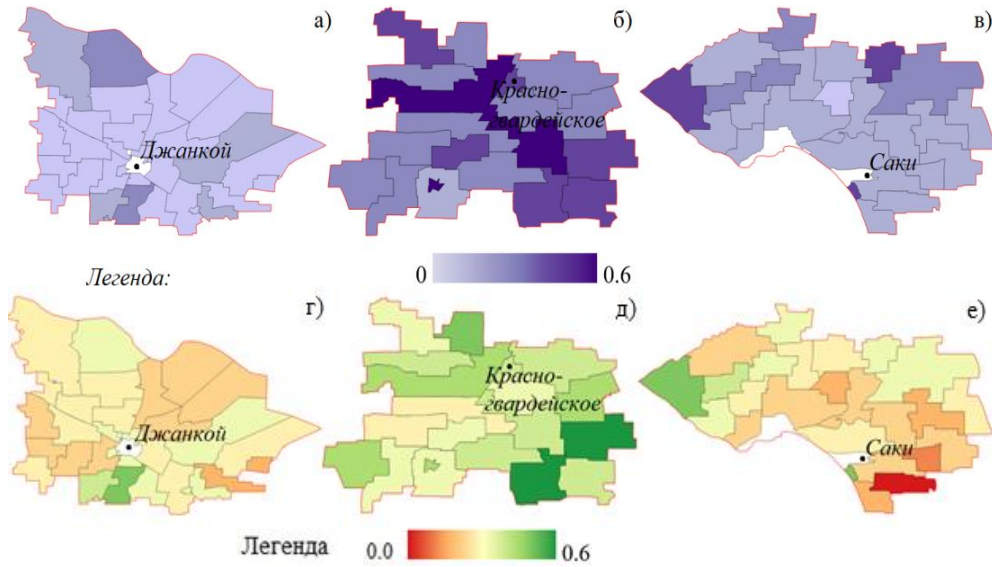


Рисунок 3 – Экономический (а, б, в) и интегральный (г, д, е) индикаторы развития сельских поселений Джанкойского, Красногвардейского и Сакского районов соответственно (по состоянию на 01.01.2020)

Совместный анализ спутниковых данных ДЗЗ об уровне NPP с данными статистической отчетности о валовой сельскохозяйственной продукции (переведенной для сопоставимости между культурами в зерновые единицы) показал различную степень их связи для районов степной части Крымского полуострова от слабой ($r < 0,4$) до очень сильной ($r > 0,8$), что показывает возможность задействования открытых материалов ДЗЗ, в ряде случаев, для косвенного анализа динамики продуктивности территорий по годам и их сопоставления на уровне районов, а также внутри районов в границах сельских поселений. При этом из 12 районов Крыма с высоким уровнем развития растениеводства только для одного района (Джанкойского) уровень связи оказался слабым ($r = 0,39$), для двух районов – средним ($r = 0,41-0,46$), для шести районов – сильным ($r = 0,64-0,78$) и для трех – очень сильным ($r = 0,82-0,88$). Тренд динамики биопродуктивности для большей части территории степного Крыма остается негативным, в том числе для периода 2014–2020 гг. (см. рисунок 4).

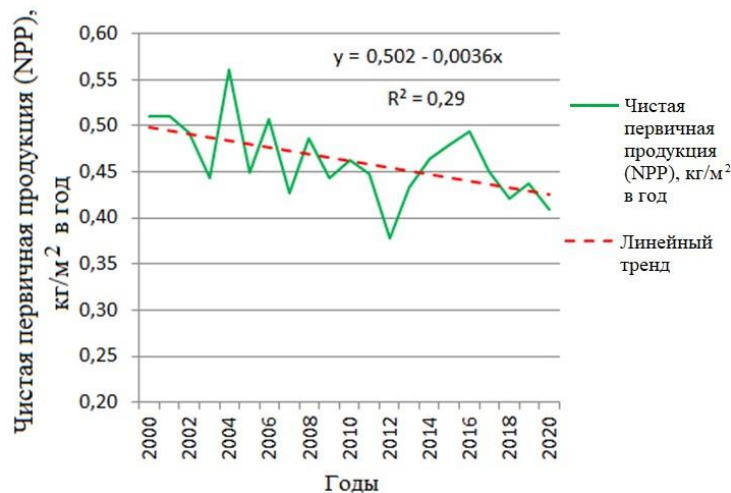


Рисунок 4 – Осредненная по районам степной части Крыма динамика годовых значений чистой первичной продукции (NPP) за период 2000–2020 гг.

Высокий уровень связи параметров ДЗЗ с данными об уровне валовой продукции для большинства районов степной части Крымского полуострова показал возможность привлечения данного вида информации для получения сопоставимых оценок развития территорий внутри районов, а также как дополнительного индикативного параметра для получения мониторинговых оценок и проведения анализа развития на уровне района и выше.

Выводы

Мониторинг текущего состояния и моделирование являются одними из ключевых инструментов в стратегическом планировании устойчивого развития территории. В статье рассмотрены подходы к оценке уровня современного состояния сельских территорий, позволяющие оценивать динамику их развития на пространственном уровне от сельских поселений и выше. На базе экосистемного подхода с интеграцией различного рода статистической информации, полученной для объектов различного уровня пространственной детализации, получены результаты оценки состояния сельских территорий от уровня сельского поселения и выше,

Методология рейтинговых оценок показала лучшие возможности для сравнения социально-экономического состояния сельских территорий районов и региона в целом по сравнению с методом сравнения парных матриц.

Интегральный индикатор социально-экономического развития в целом для Республики Крым в 2020 г. снизился на 7 % по сравнению с 2019 г., при этом для Кировского и Ленинского районов он остался на прежнем уровне. Общий интегральный индикатор экосистемного состояния снизился на 3,9 % по сравнению с предыдущим годом и ухудшился для всех районов, кроме Кировского.

Применение данных ДЗЗ позволяет получать оценки годовых значений динамики чистой первичной продукции от уровня севооборотного участка (размер пикселя 500×500 м) до уровня сельских поселений, районов и региона в целом. Динамика тренда осредненного по районам степной части Крыма значения чистой первичной продукции (NPP) за период 2000–2020 гг. является негативной (с величиной снижения около 0,4 % в год). Использование спутниковой информации дает возможность получения дополнительного контроля динамики и тенденций, происходящих на сельских территориях процессов от уровня поля/севооборота и выше.

Исследование выполнено в рамках бюджетной тематики Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Рег. № НИОКТР АААА-А16-116022610123-9

Литература

1. Яркова Т. М. Современные технологии развития сельских территорий в России и за рубежом // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 2. С. 379–392. DOI: 10.18334/ce.15.2.111607.
2. Joginder S., Rashmi N., Wajid H., Anant K. Sustainable development for agriculture and environment. SVPDAT. Meerut. UP, 2018. 280 p.
3. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН, принятая 25 сентября 2015 года. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://documents-ddsny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/> (дата обращения 01.10.2021).
4. Медолазов А. С. Приоритеты социально-экономического развития сельских муниципальных образований Орловской области // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. № 6. С. 16–21.
5. Ускова Т. В. Пространственное развитие территорий: состояние, тенденции, пути снижения рисков // Проблемы развития территории. 2015. № 1. С. 7–15.
6. Староверова Г. С., Медведев А. Ю. Сельская территория как среда обитания и сфера жизнедеятельности человека // Проблемы развития территории. 2014. № 5. С. 112–122.
7. Swaminathan M. S. The cooperative pathway of enhancing rural livelihood and nutrition security // International Journal of Rural Management. 2013. No. 91. P. 115. DOI: 10.1177/0973005213479065.
8. Бобылев С. Н. Индикаторы устойчивого развития для России // Социально-экологические технологии. Вестник МГГУ им. М. А. Шолохова. 2012. № 1. С. 8–18.
9. Третьякова Л. А., Лаврикова Н. И. Качество жизни населения индикатор устойчивости развития сельских территорий // Экономика региона. 2012. № 3. С. 227–233.

10. Газизов Р. М. Устойчивое развитие сельских территорий: метод оценки и типологизации (на примере Красноярского края) // Актуальные проблемы экономики и права. 2014. № 3. С. 34–42.
11. Alaimo L. S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: conceptual and methodological issues – the Italian perspective // Social Indicators Research. 2020. Vol. 147. P. 383–419. DOI: 10.1007/s11205-019-02162-4.
12. Constantin V., Ștefănescu L., Kantor C. M. Vulnerability assessment methodology: A tool for policy makers in drafting a sustainable development strategy of rural mining settlements in the Apuseni Mountains, Romania // Environmental Science & Policy. 2015. Vol. 52. P. 129–139. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.05.010.
13. Черданцев В. П., Шаклеина С. А. Методика экспресс-анализа устойчивого развития сельских территорий // Аграрный вестник Урала. 2016. № 3. С. 113–118.
14. Li X., Yang H., Jia J., Shen Y., Liu J. Index system of sustainable rural development based on the concept of ecological livability // Environmental Impact Assessment Review. 2021. Vol. 86. P. 106–478. DOI: 10.1016/j.ear.2020.106478.
15. Яркова Т. М. Современные технологии развития сельских территорий в России и за рубежом // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 2. С. 379–392.
16. Losch V. Can we still only think «rural»? Bridging the rural-urban divide for rural transformation in a globalized world // Development. 2015. Vol. 58. Iss. 2–3. P. 169–176. DOI: 0.1057/s41301-016-0015-3.
17. Соколов А. В. Форсайт: взгляд в будущее // Форсайт. 2007. №1 (1) С. 8–11.
18. Тарасенко В. С. Крым в параметрах устойчивого развития. Симферополь: Оригинал-М, 2008. 192 с.
19. Устойчивый Западный Крым. Крымские золотые пески: коллективная монография // Под ред. Тарасенко В. С. [и др.]. Симферополь: Бизнес-Информ, 2014. 472 с.
20. Экология Крыма. Угрозы устойчивому развитию. План действий: коллективная монография // Под ред. Тарасенко В. С. [и др.]. Симферополь: ИТ «Ариал», 2014. 183 с.
21. Калафатов Э. А. Об устойчивом развитии сельских территорий макрорегиона // Вестник СевКавГТИ. 2017. № 29. С. 37–41.
22. Калафатов Э. А. Формирование стратегических направлений развития сельских территорий Республики Крым // Международное научное издание «Современные фундаментальные и прикладные исследования». 2017. № 4. С. 71–77.
23. Официальная статистика ФСГС по Республике Крым. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://crimea.gks.ru> (дата обращения 07.06.2021).
24. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
25. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2004. 464 с.
26. Ахмедханова А. И., Кожемякина В. А., Мамаев И. И. Применение матриц в экономике // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 34. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eduherald.ru/gu/article/view?id=14118> (дата обращения: 03.09.2021).
27. Рейтинг социально-экономического положения регионов 2020. RIARATING.RU. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://riarating.ru/infografika/20200602/630170513.html> (дата обращения: 09.07.2021).
28. Running S., Zhao M. MOD17A3HGF MODIS/ Terra Net Primary Production Gap-Filled Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006 [Dataset]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2019. DOI: 10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.006.
29. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2020 году. Симферополь. 2021. 404 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meco.rk.gov.ru/gu/index> (дата обращения: 11.06.2021).

References

1. Yarkova T. M. Modern technologies of rural territories development in Russia and abroad // Kreativnaya ekonomika (Creative Economy). 2021. Vol. 15. No. 2. P. 379–392. DOI: 10.18334/ce.15.2.111607.
2. Joginder S., Rashmi N., Wajid H., Anant K. Sustainable development for agriculture and environment. SVPUAT. Meerut. UP, 2018. 280 p.
3. Resolution of the UN General Assembly, adopted on September 25, 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. [Electronic resource]. Access point: <https://documents-ddsny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/> (reference's date 01.10.2021).
4. Medolazov A. S. Priorities of socio-economic development of rural municipalities of Oryol region, Russia // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. No. 6. P. 16–21.
5. Uskova T. V. Spatial development of territories: state, trends, ways to reducing risks // Problems of territory's development. 2015. No. 1. P. 7–15.
6. Staroverova G. S., Medvedev A. Yu. Rural area as a habitat and living environment of a human // Problems of territory's development. 2014. No. 5. P. 112–122.

7. Swaminathan M. S. The cooperative pathway of enhancing rural livelihood and nutrition security // International Journal of Rural Management. 2013. No. 91. P. 115. DOI: 10.1177/0973005213479065.
8. Bobylev S. N. Indicators of sustainable development for Russia // Environment and Human: Ecological Studies (Socialno-ecologicheskie Technologii). 2012. No. 1. P. 8–18.
9. Tretyakova L. A., Lavrikova N. I. Quality of the population life is an indicator of sustainable development of rural areas // Economy of Region. 2012. No. 3. P. 227–233.
10. Gazizov R. M. Stable development of rural territories: method of estimation and typologization (on the example of Krasnoyarsk region) // Actual problems of economics and law. 2014. No. 3. P. 34–42.
11. Alaimo L. S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: conceptual and methodological issues – the Italian perspective // Social Indicators Research. 2020. Vol. 147. P. 383–419. DOI: 10.1007/s11205-019-02162-4.
12. Constantin V., Ștefănescu L., Kantor C. M. Vulnerability assessment methodology: a tool for policy makers in drafting a sustainable development strategy of rural mining settlements in the Apuseni Mountains, Romania // Environmental Science & Policy. 2015. Vol. 52. P. 129–139. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.05.010.
13. Cherdantsev V. P., Shakleina S. A. Methods for the express analysis of sustainable development of rural territories // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. No. 3. P. 113–118.
14. Li X., Yang H., Jia J., Shen Y., Liu J. Index system of sustainable rural development based on the concept of ecological livability // Environmental Impact Assessment Review. 2021. Vol. 86. P. 106–478. DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106478.
15. Yarkova T. M. Modern technologies for the development of rural areas in Russia and abroad // Creative Economy. 2021. Vol. 15. No. 2. P. 379–392.
16. Losch B. Can we still only think «rural»? Bridging the rural-urban divide for rural transformation in a globalized world // Development. 2015. Vol. 58. Iss. 2–3. P. 169–176. DOI: 0.1057/s41301-016-0015-3.
17. Sokolov A. V. Foresight: Looking into the Future // Foresight. 2007. No. 1 (1). P. 8–11.
18. Tarasenko V. S. Crimea in the parameters of sustainable development. Simferopol: Original-M, 2008. 192 p.
19. Stable Western Crimea. Crimean golden sands: collective monograph // Ed. by Tarasenko V. S. [et al.]. Simferopol: Business-Inform, 2014. 472 p.
20. Ecology of Crimea. Threats to sustainable development. Action plan: collective monograph // Ed. by Tarasenko V. S. [et al.]. Simferopol: “Arial Publ.”, 2014. 183 p.
21. Kalafatov E. A. On the sustainable development of rural areas of the macroregion // Scientific Bulletin of SevKavGTI. 2017. No. 29. P. 37–41.
22. Kalafatov E. A. Formation of strategic directions of development of rural territories of the Republic of Crimea // Modern fundamental and applied research. 2017. No. 4. P. 71–77.
23. Official statistics of the FSSS for the Republic of Crimea. [Electronic resource]. Access point: <http://crimea.gks.ru> (reference’s date 06.07.2021).
24. Saati T. L. Making decisions. Method of analysis of hierarchies. Moscow: Radio i svyaz, 1993. 278 p.
25. Andreychikov A. V., Andreychikova O. N. Analysis, synthesis, planning decisions in the economy. Moscow: Finansy i statistika, 2004. 464 p.
26. Akhmedkhanova A. I., Kozhemyakina V. A., Mamaev I. I. Application of matrices in economics // International student scientific bulletin. 2015. No. 34. [Electronic resource]. Access point: <https://eduherald.ru/ru/article/view?Id=14118> (reference’s date 09.03.2021).
27. Rating of the socio-economic situation of the regions 2020. RIARATING.RU. Electronic resource. Access point: <https://riarating.ru/infografika/20200602/630170513.html> (reference’s date 07.09.2021).
28. Running S., Zhao M. MOD17A3HGF MODIS / Terra Net Primary Production Gap-Filled Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006 [Dataset]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2019. DOI: 10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.006.
29. Report on the state and protection of the environment in the territory of the Republic of Crimea in 2020. Simferopol. 2021. 404 p. [Electronic resource]. Access point: <https://meco.rk.gov.ru/ru/index> (reference’s date 11.06.2021).

UDC 332.14:504.03

Dunaieva Ie. A., Popovich V. V., Vecherkov V. V.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE CONDITION OF RURAL AREAS

Summary. Currently, for the agro-industrial complex development, it is necessary to apply new modern methodological approaches. Among the variety of methods, it is advisable to choose those methodological approaches that will make it possible to form the optimal directions for socio-economic development of rural areas more adequately, provided they

improve the integral ecosystem state. This article is devoted to the development of a methodology for searching, selecting, calculating key parameters and integral indicators having a significant impact on the state and development of agricultural territories. The research aims to study the possibilities of integrating assessments based on the processing of statistical reporting materials and Earth remote sensing (ERS) data. The novelty of the work is in the development of a methodological approach for using statistical reporting data and indirect remote sensing data on the level of territory bioproductivity (net primary production) at various levels of spatial analysis (from the level of rural settlement and above). A database of indicators of ecosystem state of rural areas for various levels of integration (from a rural settlement and above) was created using modern software. Moreover, comparable level indicators of their current state were calculated; procedures for spatial visualization of the calculation results for pilot districts and Crimea as a whole were developed. The indicator of the socio-economic direction in 2020 for the Republic of Crimea decreased by 7 % compared to 2019; only for the Kirovsky and Leninsky districts, it remained at the same level. Considering the ecological indicator, the overall integral indicator of the ecosystem state of territories decreased by 3.9 % and worsened for almost all districts (except Kirovsky). The use of satellite information to analyze the dynamics of the development of rural areas showed the continuing negative trend in annual indicators of bioproductivity (about 1.2 % on average per year for the period 2000–2020). All visualization data are implemented through a server web platform using GIS software product – NextGISWeb to allow a third-party user having an opportunity to access the available information to conduct analytical or management activities.

Keywords: rural territories, sustainable development, development indicators, GIS technologies, visualization, net primary production, MODIS, NPP.

Дунаева Елизавета Андреевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: dunaeva_e@niishk.ru.

Попович Валентина Владимировна, научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: valentina_v_p@mail.ru.

Вечерков Валентин Валериевич, младший научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: v.valenteen11@yandex.ru.

Dunaieva Ielizaveta Andreevna, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher of digital monitoring and agroecosystem modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: dunaeva_e@niishk.ru.

Popovich Valentina Vladimirovna, researcher of digital monitoring and agroecosystem modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: valentina_v_p@mail.ru.

Vecherkov Valentin Valerievich, junior researcher of digital monitoring and agroecosystem modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: v.valenteen11@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.10.2021.

Дата принятия к печати – 12.11.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-82-91

УДК: 631.52:635.61

Елисеева Н. А., Костанчук Ю. Н.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МЕЖФАЗНЫХ ПЕРИОДОВ ДЫНИ

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Одним из ценных признаков любого сорта является его степень адаптивности к стрессовым факторам внешней среды. Цель исследований – определить степень воздействия среднесуточных температур на продолжительность межфазных периодов дыни в первой половине вегетации для оценки их экологической пластичности в условиях предгорной зоны Крыма. Опыты проводили в ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Укромное, окрестности г. Симферополь), в 2016–2019 гг. Использованы методики по селекции бахчевых культур. Объект исследований – 56 коллекционных образцов дыни различного срока созревания. Почва участка представлена южным карбонатным тяжелосуглинистым черноземом, механический состав глинистый, структура комковатая. Метеоусловия лет исследований были разнообразными (самым благоприятным по температурному режиму для дыни был 2019 г. – 2269,6 °С и не благоприятным 2016 – 1738,0 °С, 2017 и 2018 гг. занимали промежуточное положение), что позволило провести достоверную оценку экологической пластичности изучаемых сортов. Схема посева стандартная, площадь питания одного растения 1×1,5 м². Площадь учетной делянки 25 м². Изучение проводили в коллекционном питомнике в четырехкратной повторности. Сравнивали три группы спелости сортовых образцов дыни: раннеспелые (I) – период вегетации 55–75, среднеранние (II) 76–90, среднепоздние (III) – более 90 суток. За годы изучения продолжительность межфазных периодов изменялась в пределах от 18 до 59 суток. Повышение относительной среднесуточной температуры воздуха на 1°С сокращало длительность фенофаз в среднем на 1,02–4,43 суток. Наиболее выраженные изменения в третьем межфазном периоде (всходы–начало плодообразования) – среднее значение экологической вариации соответствовало 27,5 %, а максимальным оно было у среднепоздних образцов 25,3 %. Установлена тесная отрицательная корреляционная взаимосвязь – от 0,72 до 0,99 между увеличением относительной среднесуточной температуры воздуха и продолжительностью фенофаз первой половины вегетации растений дыни. Каждый генотип индивидуально реагировал на изменение внешнего воздействия. Наибольшей степенью изменчивости отличалась группа среднепоздних образцов. Увеличение относительных среднесуточных температур на 1°С сокращает продолжительность межфазных периодов растений этой группы от 1,99 до 3,75 суток. Наиболее стабильны сорта Идиллия, Гюльнара, Эфиопка.

Ключевые слова: дыня (*Cucumis melo* L.), сорт, генотип, селекция, адаптивность, фенофаза, вегетационный период, абиотические факторы.

Для цитирования: Елисеева Н. А., Костанчук Ю. Н. Влияние температурного фактора на продолжительность межфазных периодов дыни // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 82–91. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-82-91.

For citation: Eliseeva N. A., Kostanchuk Yu. N. Effect of temperature factor on the duration of interphase periods of melon plants // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 82–91. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-82-91.

Введение

Урожайность и полезные свойства продукции бахчевых культур зависят не только от особенностей сорта или гибрида [1, 2], но и от почвенно-климатических

условий региона [3, 5]. Изменчивость хозяйственно ценных признаков генотипов обусловлена воздействием нерегулируемых абиотических факторов места произрастания [3]. Поэтому при создании нового исходного материала селекционер выбирает формы и образцы, обладающие признаками, которые необходимы в данной экологической зоне [5]. Созданные сорта и гибриды в одних условиях не могут реализовать свои потенциальные полезные свойства в других районах, но могут непосредственно использоваться как компоненты в скрещивании с местными экологически приспособленными формами [1, 3].

Оценка экологической адаптивности сортов на современном этапе селекции занимает одно из приоритетных направлений. Выделение лучших сортов, обладающих высокой степенью устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды – главная задача селекционного процесса [2, 3]. Известно, что различные изменения под воздействием внешних условий не наследуются, а приобретаются в процессе их использования в разных зонах возделывания культуры. Поэтому вопрос изучения степени варьирования признаков позволит лучше совершенствовать технологию выращивания, использования различных элементов в направлении выравнивания негативного воздействия того или иного фактора на урожайность и экономику выращивания товарной продукции [3, 5].

Экологическая стабильность сортов, их устойчивость к лимитирующим факторам среды, способность сохранять характерные морфологические свойства дает возможность использования выделенных образцов в гибридизации при повторных, ступенчатых скрещиваниях [1, 3, 5].

Дыня относится к теплолюбивым культурам и требует для нормального роста и развития наличия высоких положительных температур. Оптимальными температурами для нее являются 25–30 °С, ниже 20 °С происходит задержка роста, при снижении до 12 °С растения дыни плохо развиваются, а при 3–5 °С рост прекращается [4]. Оптимальные температуры различны на всех этапах развития. Начальная температура, при которой возможно прорастание семян, составляет 10–15 °С. Дыня плохо реагирует на резкие изменения температуры, снижается не только урожай, но и его качество [4, 5].

Сумма эффективных температур для нормального цикла развития варьирует от 2200 до 2500 °С, по фазам развития: всходы–шатрик – 170–200 °С, шатрик–образование плетей – 150–200 °С, образование плетей–цветение – 370–400 °С, цветение–плодообразование – 220–250 °С и плодообразование–созревание плодов – 700 – 1000 °С [3].

Благоприятные климатические и экономические условия для выращивания бахчевых культур имеются во многих регионах страны [8], в том числе и в Крыму, где дыня возделывается в открытом грунте.

Крымский полуостров является благоприятным регионом для возделывания дыни в открытом грунте. Однако следует отметить, что первая половина вегетационного периода характеризуется неустойчивыми весенними температурами и вероятностью выпадения ливневых осадков с сопутствующим им похолоданиями, которые негативно воздействуют на рост и развитие растений дыни. Поэтому критерием оценки сортовых образцов дыни в нашей работе выступала продолжительность межфазных периодов первой половины вегетации.

Цель исследований – определить степень воздействия среднесуточных температур на продолжительность межфазных периодов дыни в первой половине вегетации для оценки их экологической пластичности в условиях предгорной зоны Крыма.

В задачи исследования входило провести оценку продолжительности межфазных периодов образцов дыни в коллекционном питомнике в сравнении с изменяющимися среднесуточными температурами за четыре года от худшего к лучшему.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2016–2019 гг. на опытном участке ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Укромное, в 12 км на северо-запад от Симферополя). Почва представлена южным карбонатным тяжелосуглинистым черноземом, механический состав – глинистый, структура комковатая. Объемная масса метрового слоя почвы – 1,36 г/см³. По гранулометрическому составу почва является тяжелым слабо-структурным суглинком. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 4,3 %, азота (ГОСТ 26951-86) – 3,2–5,6, фосфора (по Мачигину) – 8,9, калия (по Мачигину) – 64,8 мг/100г; рН почвенного раствора – 8,3. Глубина пахотного горизонта 30–40 см.

Погодные условия первой половины вегетационного периода 2016 г. характеризовались умеренными температурами на фоне достаточного количества выпадающих осадков. К началу созревания плодов дыни выпало 293,2 мм при средней многолетней норме 206 мм. Среднесуточные температуры воздуха с середины июня до конца августа изменялись в пределах 21–25,1 °С. Сумма эффективных температур (СЭТ) в период формирования плодов дыни (с 15.06 по 30.07) составляла 987 °С при норме 930–970 °С, а за весь период вегетации этот показатель составил 1738 °С.

Метеоусловия 2017 г. мало отличались от предшествующего года. Среднесуточные температуры июня были ниже показателей прошлого года на 1,7–2,0 °С и изменялись в пределах 18,5–23,1 °С. Осадки выпадали неравномерно, в основном в первой половине лета. До начала созревания плодов выпало 328,9 мм, что выше нормы на 59,7 %. Сумма эффективных температур в период формирования плодов дыни составляла 938,5 °С, за весь вегетационный период – 1913,2 °С.

Следующий 2018 г. отличался от двух предшествующих лет длительной весенней засухой с сильными ветрами юго-восточного направления. На фоне высоких дневных температур количество осадков за апрель, май, июнь и первую декаду июля составило 84 мм, что в два раза меньше нормы, при варьировании среднесуточных температур в июне от 18,2 °С до 22,6 °С; максимальные их показатели доходили до 36,8 °С. С 13 июля резко увеличилось выпадение осадков, сопровождающихся ливнями и градом. За вторую половину июля выпала двухмесячная норма осадков (122 мм). Сумма эффективных температур до начала созревания плодов была значительно выше двух предшествующих лет и соответствовала значению 1014 °С, за весь период вегетации ее величина составляла 1957,6 °С, что выше уровня прошлого года на 44,5 °С.

Погодные условия вегетационного периода первой половины лета 2019 г. характеризовались значительными положительными температурами на фоне резкого недостатка влаги. За три месяца с апреля по конец июня выпало всего 118 мм при средних многолетних показателях 143 мм. За этот период среднесуточная температура воздуха была на 2,0–2,5 °С выше нормы. Июль выдался умеренно жарким, среднесуточные температуры превышали многолетние данные на 1,5–3,1 °С, а в среднем за месяц – на 1,6 °С. Дефицит выпадающих осадков был значительным – при норме 63,0 мм их количество составляло 20,7 мм. Это способствовало ускоренному росту и развитию растений, в также быстрому и дружному созреванию плодов при их высоких показателях биохимических свойств.

Сумма эффективных температур в период массового цветения и плодообразования дыни в 2019 г. составляла 972,8 °С при норме по данным Херсонского НИЦ НААН Украины 930 – 970 °С; за весь вегетационный период – 2269,6 °С при норме 2200–2500 °С, что на 312 °С выше прошлого года.

Объектом изучения были 56 коллекционных образцов дыни разных групп спелости.

Высев семян осуществляли в оптимальные сроки – с 24 апреля по 11 мая в зависимости от температуры прогревания почвы на глубине 8–10 см до 15 °С. Закладку опытов проводили согласно существующей методике селекционного

процесса у бахчевых культур [6]. Схема посева стандартная, площадь питания одного растения 1×1,5 м². Площадь учетной делянки 25 м². Изучение проводили в коллекционном питомнике в четырехкратной повторности. Сравнивали три группы спелости сортовых образцов дыни: раннеспелые (I) – период вегетации 55–75, среднеранние (II) 76–90, среднепоздние (III) – более 90 суток.

За изучаемый период времени была подсчитана сумма эффективных температур всего вегетационного периода. Оказалось, что самым благоприятным по температурному режиму для дыни был 2019 г. – 2269,6 °С, неблагоприятным – 2016 – 1738,0 °С, 2017 и 2018 гг. занимали промежуточное положение по данному показателю – 1913,2 и 1957,6 °С, при этом была отмечена существенная разница в продолжительности фаз первой половины вегетации в 2019 г.

У растений дыни амплитуда ранне-позднеспелости значительно шире, чем у других бахчевых культур. Скорость созревания плодов зависит от сроков вступления растений в определённые фазы развития [9]. Для выявления изменчивости продолжительности межфазных периодов в зависимости от колебаний среднесуточных температур была подсчитана относительная величина, показывающая среднее количество градусов на одни сутки каждого периода. Для этого был проведен подсчет сумм всех среднесуточных температур за каждый период в отдельности по каждому сортовому образцу и разделен на количество дней данного периода (таблица 1).

Оценку адаптивной способности и стабильности сортов и гибридов по данному признаку проводили согласно Методическим указаниям по экологическому испытанию овощных культур в открытом грунте [5]. Разницу изменений длины межфазных периодов растений дыни оценивали в зависимости от повышения относительной среднесуточной температуры по уравнению:

$$a_1 = \frac{\sum xy - x_{\text{ср}}y_{\text{ср}}n}{\sum x^2 - (x_{\text{ср}})^2 n}$$

где a_1 – коэффициент регрессии, который показывает на сколько единиц изменяется результативность признака;

x – относительная величина среднесуточной температуры воздуха, °С;

y – продолжительность межфазного периода, сутки;

$x_{\text{ср}}$ – среднее многолетнее значение относительной среднесуточной температуры, °С;

$y_{\text{ср}}$ – среднее значение длины периода за четыре года, сутки;

n – число повторений.

Чтобы выяснить изменчивость нужного признака, вычисляли коэффициент пластичности (E), показывающий изменения признака в зависимости от колебания среднесуточных температур по годам: $E = a_1 \{ x / (a_0 + a_1 x) \}$; $a_0 = y_{\text{ср}} - a_1 x$, [5].

V_3 – коэффициент экологической вариации в % рассчитывали по формуле:

$$V_3 = \frac{S}{x_{\text{ср}}} \cdot 100, \text{ где}$$

S – стандартное отклонение, которое рассчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{C_y}{n-1}}; \quad C_y = (y_1^2 + y_2^2 + y_n^2) - \frac{(y_1 + y_2 + y_n)^2}{n},$$

где y – длина периода, сутки;

$(y_1 + y_2 + y_n)^2$ – сумма ДП по повторениям (по годам) в квадрате;

n – число повторений.

$\sqrt{\quad}$ – квадратный корень от частого величины C_y и числа повторений минус единица.

Корреляционную взаимосвязь продолжительности периодов и изменений температуры вычисляли по формуле корреляции [6].

Результаты и их обсуждение

На основании метеоданных о величине относительных среднесуточных температур по трем фенологическим фазам развития дыни были сформированы ряды изменчивости (таблица 1). В среднем по всем группам спелости колебания

температуры имели существенные различия. Разница между минимальными и максимальными значениями варьировала от 4,3 до 7,3 °С в зависимости от сорта.

Таблица 1 – Изменения относительных среднесуточных температур межфазных периодов растений дыни (среднее за 2016–2019 гг.), °С

Сорт	Межфазный период								
	всходы – шатрик (I)			всходы – начало цветения женских цветков (II)			всходы – начало плодообразования (III)		
	среднее	min	max	среднее	min	max	среднее	min	max
Группа раннеспелых форм									
Таманская	17,9	16,6	19,2	19,3	17,1	23,2	19,9	18,2	23,1
Каламита	19,4	16,3	24,8	20,8	18,7	25,4	21,7	19,1	27,3
Гюльнара	18,8	16,9	22,3	20,0	18,2	22,9	20,8	18,9	23,2
Среднее	18,7	16,6	22,1	20,0	18,0	23,8	20,6	18,7	24,5
НСР ₀₅	2,45			1,04			2,14		
Группа среднеранних форм									
Осень	19,3	17,2	23,2	20,8	19,3	23,6	21,6	19,1	24,2
Насолода	19,3	17,1	24,0	20,8	19,2	23,8	21,2	18,9	23,9
Медовка	19,7	16,4	23,0	20,3	17,1	23,1	21,2	18,9	23,6
Идиллия	20,4	16,8	28,8	20,8	18,8	24,3	21,0	19,0	23,4
Казачка	18,9	16,9	22,0	21,0	19,2	24,1	21,3	19,3	23,4
Среднее	19,5	16,9	24,2	20,7	18,7	23,8	21,3	19,1	23,6
НСР ₀₅	2,53			0,90			0,45		
Группа среднепоздних форм									
Сладкое чудо	19,0	17,7	22,2	20,2	18,2	23,0	20,9	18,9	23,6
Прима	18,8	17,4	22,0	20,2	19,1	22,9	20,2	18,7	22,6
Райский нектар	20,5	17,2	28,8	21,1	19,1	25,9	20,9	18,7	25,1
Эфиопка	18,9	17,0	22,3	20,4	19,2	23,1	20,6	19,3	22,9
Среднее	19,3	17,3	23,8	20,5	18,9	23,7	20,6	18,9	23,6
НСР ₀₅	2,74			1,20			1,08		

Разница в показателях относительных среднесуточных температур у сортов находилась в пределах от 16,3 до 28,8 °С в первом периоде, от 17,1 до 25,9 °С – во втором и от 18,2 до 27,3 °С – в третьем, при этом каждый сорт отличался индивидуальными показателями их значений. Изменение продолжительности фенофаз по годам в первом периоде составляло от 18 до 35 сут, во втором – от 28 до 51 сут, в третьем – от 34 до 59 сут (таблица 2).

По раннеспелым сортовым образцам продолжительность первого периода составляла от 17 до 26 сут, второго периода – от 26 до 42 и третьего – от 33 до 48 сут. Разница в длине каждого межфазного периода составляла от 9 до 16 сут в зависимости от сорта. Самыми продолжительными были фенофазы в 2016 г.: первый период – 26–37 сут, второй – 40–55 сут, третий – 33–60 сут. Их продолжительность была индивидуальна для каждого генотипа и зависела от группы спелости: у раннеспелых форм она была короче, чем у более поздних. Наиболее продолжительными были фенофазы у сортов Сладкое чудо и Райский нектар, короткими – у Таманская, Гюльнара и Каламита.

Для установления критерия изменчивости изучаемого признака вычисляли коэффициент регрессии, который показывает на сколько единиц изменяется результативность признака (таблица 3).

При повышении ОССТ на 1 °С наблюдали сокращение продолжительности первого межфазного периода в зависимости от группы спелости и от конкретного генотипа: у первой группы сортов на 1,60, у второй – на 2,27, у третьей – на 1,99 сут. Аналогичную закономерность наблюдали и во второй фазе развития – всходы–начало цветения женских цветков (таблица 4).

Таблица 2 – Изменения продолжительности межфазных периодов развития растений дыни (среднее за 2016–2019 гг.)

Сорт	Межфазный период, сут								
	всходы – шатрик (I)			всходы – начало цветения женских цветков (II)			всходы – начало плодообразования (III)		
	среднее	min	max	среднее	min	max	среднее	min	max
	Группа раннеспелых форм								
Таманская	25	17	30	33	26	40	40	33	45
Каламита	25	19	32	35	29	42	41	35	48
Гюльнара	23	19	26	34	28	42	41	34	46
Среднее	24	18	29	34	28	41	41	34	46
НСР ₀₅	3,45	-	-	2,96	-	-	1,51	-	-
	Группа среднеранних форм								
Осень	27	19	34	41	34	49	47	41	53
Насолода	25	20	30	41	31	49	47	40	55
Медовка	24	16	29	40	32	49	45	40	51
Идиллия	21	16	25	40	33	46	46	40	52
Казачка	25	19	33	36	27	42	45	40	52
Среднее	25	18	30	40	31	47	46	40	53
НСР ₀₅	2,83	-	-	2,76	-	-	1,92	-	-
	Группа среднепоздних форм								
Сладкое чудо	27	17	37	41	29	48	51	45	58
Прима	27	21	35	45	34	52	53	46	59
Райский нектар	25	18	34	44	31	55	54	45	60
Эфиопка	25	19	32	42	34	47	52	46	58
Среднее	26	19	35	43	32	51	53	46	59
НСР ₀₅	2,62	-	-	3,24	-	-	2,13	-	-

Таблица 3 – Изменчивость продолжительности первого межфазного периода растений дыни в зависимости от относительной среднесуточной температуры воздуха (среднее за 2016–2019 гг.)

Сорт	Изменения в периоде всходы–шатрик		Изменение длительности периода от увеличения ОССТ на 1°C, сут (a ₁)
	ОССТ*, °C	Продолжительность периода, сут	
	Группа раннеспелых форм		
Таманская	16,6–19,2	30–17	-1,53
Каламита	16,3–24,8	32–19	-1,76
Гюльнара	16,9–22,3	26–19	-1,53
Среднее	16,6–22,1	29–18	-1,60
	Группа среднеранних форм		
Осень	17,2–23,2	34–19	-2,99
Насолода	17,1–24,0	30–20	-1,66
Медовка	16,4–23,0	29–16	-2,60
Идиллия	16,8–28,8	25–16	-0,61
Казачка	16,9–22,0	33–19	-3,47
Среднее	16,9–24,2	30–18	-2,27
	Группа среднепоздних форм		
Сладкое чудо	17,0–22,2	37–17	-2,88
Прима	17,2–22,0	35–21	-2,23
Райский нектар	16,7–28,8	34–18	-1,02
Эфиопка	17,0–22,3	32–19	-1,78
Среднее	17,0–23,8	35–19	-1,99
НСР ₀₅	2,16	3,04	-0,06

Примечание. *Относительная среднесуточная температура воздуха.

Данную взаимосвязь во второй фенофазе выявляли в большей степени в зависимости от сорта, сокращение продолжительности периода изменялось в пределах 1,81–4,02 сут, по группам спелости от 2,14 до 2,99 сут. По третьему межфазному

периоду (таблица 5), продолжительность периода по сортам варьировала от 1,17 до 4,43 сут и в среднем по группам спелости от 1,84 до 3,75 сут. Среди сортов наименьшие значения в изменении всех трех фенофаз наблюдали у сортов Таманская, Идиллия и Эфиопка.

Таблица 4 – Изменчивость продолжительности второго межфазного периода растений дыни в зависимости от ОССТ (среднее за 2016–2019 гг.)

Сорт	Изменения периода всходы–начало цветения женских цветков		Изменение длительности периода от увеличения ОССТ на 1°C, сут (a ₁)
	ОССТ, °C	Продолжительность периода, сут	
Группа раннеспелых форм			
Таманская	17,1–23,2	40–26	–1,81
Каламита	18,7–25,4	42–29	–2,02
Гюльнара	18,2–22,9	42–28	–2,59
Среднее	18,0–23,8	41–28	–2,14
Группа среднеранних форм			
Осень	19,3–23,6	49–34	–2,08
Насолода	19,2–23,8	49–31	–2,83
Медовка	17,1–23,1	49–32	–2,37
Идиллия	18,8–24,3	46–33	–2,19
Казачка	19,2–24,1	42–27	–2,06
Среднее	18,7–23,8	47–31	–2,31
Группа среднепоздних форм			
Сладкое чудо	18,2–23,0	48–29	–4,02
Прима	19,1–22,9	52–34	–2,66
Райский нектар	19,1–25,9	55–31	–3,44
Эфиопка	19,2–23,1	47–34	–1,86
Среднее	18,9–23,7	51–32	–2,99
НСР ₀₅	0,97	3,11	–0,04

Таблица 5 – Изменчивость продолжительности третьего межфазного периода растений дыни в зависимости от ОССТ (среднее за 2016–2019 гг.)

Сорт	Изменения в периоде всходы–начало плодообразования		Изменение длительности периода от увеличения ОССТ на 1 °C, сут (a ₁)
	ОССТ, °C	Продолжительность периода, сут	
Группа раннеспелых форм			
Таманская	18,2–23,1	45–33	–1,68
Каламита	19,1–27,3	48–35	–1,17
Гюльнара	18,9–23,2	46–34	–2,66
Среднее	18,7–24,5	46–34	–1,84
Группа среднеранних форм			
Осень	19,1–24,2	53–41	–2,31
Насолода	18,9–23,9	53–40	–2,81
Медовка	18,9–23,6	51–40	–2,32
Идиллия	19,0–23,4	52–40	–2,89
Казачка	19,3–23,4	52–40	–1,86
Среднее	19,1–23,6	54–40	–2,44
Группа среднепоздних форм			
Сладкое чудо	18,9–23,6	58–45	–4,43
Прима	18,7–22,6	59–46	–3,08
Райский нектар	18,7–25,1	60–45	–3,92
Эфиопка	19,3–22,9	58–46	–3,58
Среднее	18,9–23,6	59–45	–3,75
НСР ₀₅	1,24	1,98	–0,03

По изменениям коэффициента пластичности E, можно судить о степени вариабельности изучаемого признака при изменении ОССТ на 1 % (таблица 6). По нашим данным, наиболее изменчива группа среднепоздних сортов.

Таблица 6 – Корреляционная взаимосвязь ОССТ и продолжительности межфазных периодов развития растений дыни в условиях предгорной зоны Крыма (среднее за 2016–2019 гг.)

Сорт	Межфазный период								
	Всходы–шатрик			всходы–начало цветения женских цветков			всходы–начало плодообразования		
	Е	С _v , %	r	Е	С _v , %	r	Е	С _v , %	r
группа раннеспелых форм									
Таманская	1,09	22,8	–0,87	1,11	17,5	–0,89	0,85	28,1	–0,95*
Каламита	1,57	26,8	–0,77	1,25	18,2	–0,78	0,63	28,7	–0,77**
Гюльнара	1,31	16,6	–0,91	1,56	17,9	–0,87	1,41	28,1	–0,99*
Среднее	1,32	22,1	–0,85	1,31	17,9	–0,85	0,96	28,3	–0,90**
группа среднеранних форм									
Осень	2,50	28,7	–0,84	1,08	18,6	–0,82	1,08	27,2	–0,99*
Насолода	1,40	18,1	–0,81	1,48	20,7	–0,80	1,30	26,2	–0,99*
Медовка	2,55	27,9	–0,98	1,25	20,4	–0,97	1,11	28,7	–0,99*
Идиллия	0,64	20,2	–0,88	1,19	14,7	–0,92	1,35	27,0	–0,99*
Казачка	2,98	25,3	–0,88	1,24	18,2	–0,99	0,90	25,8	–0,94**
Среднее	2,01	24,1	–0,88	1,25	18,5	–0,90	1,15	26,9	–0,98*
группа среднепоздних форм									
Сладкое чудо	2,21	33,8	–0,94	2,11	20,2	–0,99	1,90	26,2	–0,99**
Прима	1,61	29,5	–0,82	3,45	17,5	–0,96	1,19	26,5	–0,99*
Райский нектар	0,94	30,8	–0,72	1,82	23,1	–0,90	1,62	31,0	–0,98*
Эфиопка	1,41	24,7	–0,90	0,92	13,9	–0,95	1,45	25,8	–0,90**
Среднее	1,54	29,7	–0,85	2,08	18,7	–0,95	1,54	27,4	–0,97*

Примечание. Е – коэффициент пластичности; С_v – изменчивость фазы; r – коэффициент корреляции; * показатели достоверны при $p \leq 0,01$; ** показатели достоверны при $p \leq 0,05$.

Коэффициент экологической вариации (С_v), выраженный в %, показывает степень изменения данного признака за изучаемый период, максимальным он был у сортов Райский нектар и Сладкое чудо в первом периоде развития, Райский нектар и Насолода – во втором, Райский нектар, Каламита и Медовка – в третьем (таблица 6). Наиболее значительные изменения в третьем межфазном периоде: среднее значение экологической вариации соответствовало 27,8 %, по группам спелости показатель С_v был максимальным у среднепоздних образцов 25,3 %, меньшую степень воздействия температурный фактор оказывал на второй период развития растений дыни, а именно период всходы – цветение женских цветков, по группам спелости в этом периоде различия были не существенными – 17,9–18,7 %.

Коэффициент корреляции (r) у всех сортов был отрицательным и составлял –0,72...–0,99. Максимальным он был у второй и третьей группы сортов – –0,97...–0,98, что говорит о том, что существует тесная отрицательная корреляционная взаимосвязь между повышением среднесуточной температуры воздуха и продолжительностью межфазных периодов развития растений дыни.

Выводы

Выявлено, что при повышении значений относительных среднесуточных температур продолжительность межфазного периода снижалась индивидуально в зависимости от генотипа образца и составляла от 0,61 до 4,43 сут.

Максимальное изменение продолжительности периодов дыни выявлено у группы среднепоздних форм. Увеличение относительных среднесуточных температур на 1 °С сокращает длину межфазных периодов растений этой группы от 1,99 до 3,75 сут.

Установлена тесная отрицательная корреляционная взаимосвязь – от –0,72 до –0,99 между увеличением среднесуточной относительной температурой воздуха и продолжительностью фенофаз первой половины вегетации растений дыни.

Наименьшей степенью варьирования изучаемого признака отличались сорта Идиллия, Гюльнара, Эфиопка.

Литература

1. Колебошина Т. Г., Егорова Г. С., Варивода Е. А., Шапошников Д. С. Значение селекции бахчевых культур в развитии отрасли бахчеводства // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Серия «Наука и высшее профессиональное образование». 2017. № 1 (45). С. 90–97.
2. Варивода Е. А., Колебошина Т. Г., Корнилова М. С. Коллекционные образцы – определяющий фактор получения новых сортов дыни // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 2. С. 23–27. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-23-27.
3. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого – генетические основы) // Теория и практика. М.: Агрорус, 2008. Т.1. 814 с.
4. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Оценка адаптивной способности и стабильности сортов и гибридов овощных культур // В кн.: Методические указания по экологическому испытанию овощных культур в открытом грунте, часть II. М., 1985. С. 43–53.
5. Kesh H. Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: an update // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 282. Art. No. 110045. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110045.
6. Варивода Е. А., Колебошина Т. Г., Фомин С. Д., Масленникова Е. С. Оценка и отбор коллекционных образцов арбуза для использования в селекционном процессе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2(62). С. 222–231. DOI 10.32786/2071-9485-2021-02-23.
7. Бахчевые культуры // Под ред. Лымаря А.О. К.: Аграрна наука, 2000. С. 30.
8. Koleboshina T. G., Varivoda E. A. Melon Growing Industry Analysis in Modern Economic Conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. Art. No. 062075. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062075.
9. Колебошина Т. Г., Варивода О. П., Егорова Г. С., Галичкина Е. А. Изучение наследования вегетационного периода у гибридов дыни в условиях Волгоградского Заволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 69–76.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

References

1. Koleboshina T. G., Egorova G. S., Varivoda E. A., Shaposhnikov D. S. The value selection of melons in the melon industry development // Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2017. No. 1 (45). P. 90–97.
2. Varivoda E. A., Koleboshina T. G., Kornilova M. S. Collection accessions and source material as a determining factor for producing new melon cultivars // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol.181. No. 2. P. 23–27. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-23-27.
3. Zhuchenko A. A. Adaptive plant growing: ecological-genetic principles // Theory and practice. Moscow: Agrorus, 2008. Vol. 1. 814 p.
4. Kilchevsky A. V., Khotyleva L. V. Assessment of adaptive capacity and stability of varieties and hybrids of vegetable crops // Guidelines for the environmental testing of vegetable crops in open ground. Part II. Moscow, 1985. P. 43–53.
5. Kesh H. Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: an update // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 282. P. 110045. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110045.
6. Varivoda E. A., Koleboshina T. G., Fomin S. D., Maslennikova E. S. Evaluation and selection of collection samples of watermelon for use in the breeding process // Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2021. No. 2(62). P. 222–231. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-23.
7. Melons // Ed. by Lyamar A.O. Kiev: Agrarna nauka, 2000. P.30.
8. Koleboshina T. G., Varivoda E. A. Melon growing industry analysis in modern economic conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Science and Technology Conference "EarthScience". Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. No. 459. Art. No. 062075. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062075.
9. Koleboshina T. G., Varivoda O. P., Egorova G. S., Galichkina E. A. Studying the inheritance of the growing season in hybrids of melons in the conditions of the Volgograd Transvolga // Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2018. No. 3(51). P. 69–76.
10. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 352 p.

UDC 631.52: 635.61

Eliseeva N. A., Kostanchuk Yu. N.

EFFECT OF TEMPERATURE FACTOR ON THE DURATION OF INTERPHASE PERIODS OF MELON PLANTS

Summary. *One of the valuable traits of any variety is its degree of adaptability to stressful environmental factors. The purpose of the research is to determine the degree of influence of average daily temperatures on the duration of interphase periods of some melon varieties in the first half of growing season to assess their ecological plasticity under conditions of the foothill zone of the Crimea. The studies were conducted in 2016–2019 on the experimental fields of FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea” (village of Ukromnoye, Simferopol suburbs). All the research studies were carried out according to the existing guidelines for melon crops breeding. Fifty-six melon samples varying in reaching maturity were the objects of the study. Soil – chernozem southern calcareous heavy loamy; its texture is clayey, structure – lumpy. Weather conditions during the years of research varied. The most favourable temperature regime for the melon growing was in 2019 (2269.6 °C); unfavourable – in 2016 (1738.0 °C); 2017 and 2018 occupied an intermediate position. It allowed obtaining objective results in assessing ecological plasticity of the studied varieties. Planting scheme – standard; feeding area – 1.0×1.5 m² per one plant. The study was carried out in a collection nursery; four-fold replication. We compared melons of three groups of ripeness: early (I) – varieties mature in 55–75 days, mid-early (II) – ripen in 76–90 days, mid-late (III) – require 90 days until harvest. During the years of research, the duration of interphase periods varied from 18 to 59 days. An increase in the relative average daily air temperature by 1 °C reduced the phenophases duration on average by 1.02–4.43 days. The most pronounced changes were revealed in the third interphase period (seedlings – fruit formation beginning): the average value of the ecological variation corresponded to 27.5 %; maximum it was in the mid-late samples (25.3 %). We established a close negative correlation (from –0.72 to –0.99) between an increase in the relative average daily air temperature and duration of the phenophases of the first half of the melon plants growing season. Each genotype reacted individually to changes in external influences. The group of mid-late samples had the highest degree of variability. An increase in the relative average daily temperatures by 1 °C reduces the length of the interphase periods of plants of this group from 1.99 to 3.75 days. Among others, varieties ‘Idyllia’, ‘Gulnara’, ‘Ethiopka’ were the most stable.*

Keywords: *melon (Cucumis melo L.), cultivar, genotype, breeding, adaptability, phenophase, growing season, abiotic factors.*

Елисеева Надежда Алексеевна, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: nadezhda.19.60@mail.ru.

Костанчук Юлия Николаевна, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур; ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: kostanchuk_yu@niishk.ru.

Eliseeva Nadezhda Alekseevna, researcher of the Department of plant breeding and seed production of vegetables and melons, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russia; e-mail: nadezhda.19.60@mail.

Kostanchuk Yuliya Nikolaevna, senior researcher of the Department of selection and seed production of vegetables and melons, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: kostanchuk_yu@niishk.ru.

Дата поступления в редакцию – 10.05.2021.

Дата принятия к печати – 05.10.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-92-100

УДК 633.112:631.52

Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Безуглая Т. С., Дубинина О. А.
**ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НОВЫХ СОРТОВ
ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ЯХОНТ И ЯНТАРИНА**

ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»

Реферат. В Госреестр селекционных достижений в 2018 и 2020 гг. по Северо-Кавказскому региону включены сорта озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина, созданные в ФГБНУ «АНЦ “Донской”» методом внутривидовой ступенчатой гибридизации с использованием в скрещиваниях сортов и линий собственной и инорайонной селекции. Цель исследования – оценить новые сорта озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина по продуктивности, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессфакторам, качеству зерна и макарон. Исследования выполняли в 2014–2020 гг. в АНЦ «Донской», который находится в южной зоне Ростовской области, благоприятной для возделывания озимой твердой пшеницы. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый. Климат зоны характеризуется полусухим жарким летом и умеренно мягкой зимой. Сумма положительных температур – более 3400 °С, гидротермический коэффициент 0,8, среднегодовая температура воздуха – 9,7 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 450–600 мм. Представлены результаты изучения сортов по указанным выше признакам и свойствам, их преимущества в сравнении с стандартным сортом Дончанка. В среднем за семь лет конкурсных испытаний Яхонт и Янтарина характеризовались высокой урожайностью – 8,46 и 8,52 т/га, крупнозерностью – масса 1000 зерен 40,8 и 43,5 г, устойчивостью к засухе – 4,5 и 4,5 баллов, полеганию – 4,6 и 4,2 баллов, бурой ржавчине 10–20 и 10–20 %. Превышение величин этих показателей над стандартом Дончанка составили 1,17 и 1,23 т/га; 4,0 и 6,7 г; 0,5 и 0,5 балла; 1,0 и 0,6 балла; 3,0 и 3,0 %, 10 и 10 % соответственно. Более высокую урожайность в структурном отношении Яхонт и Янтарина формировали благодаря повышенному количеству продуктивных стеблей на 1 м² (591 и 542 шт., стандарт – 498 шт.), продуктивности колоса (1,52 и 1,68 г, стандарт – 1,47 г). По большинству признаков качества зерна и макарон отвечали не только требованиям ГОСТ Р9353-2016, но и превысили стандартный сорт Дончанка по стекловидности на 7,4 и 8,0 %, натуре зерна – на 41 и 46 г/л, содержанию клейковины – на 2,0 и 0,70 %, числу падения – на 4 и 44 с, SDS-седиментации – на 4 и 3 мл соответственно.

Ключевые слова: пшеница твердая (*Triticum durum* Desf.), сорт, урожайность, устойчивость, стабильность, качество.

Для цитирования: Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Безуглая Т. С., Дубинина О. А. Хозяйственно-биологические признаки новых сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 92–100. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-92-100.

For citation: Ilichkina N.P., Samofalova N.E., Bezuglaya T.S., Dubinina O.A. Economic and biological traits of the new winter durum wheat varieties ‘Yakhont’ and ‘Yantarina’ // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No 4(28). P. 92–100. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-92-100.

Введение

Мировое производство твердой пшеницы в 2019–2020 г. составило 33,6 млн т, в том числе в Евросоюзе – 7,5 млн т, в Мексике – 1,7 млн т, в США – 1,5 млн т, Канаде – 5,0 млн т. Согласно прогнозам Canadian Wheat Board (CWB), объемы мировой торговли твердой пшеницей (дурум) в 2020–2021 гг. составят до 34,3 млн т.

Важнейшим фактором, влияющим на мировую торговлю и ценовую конъюнктуру на рынке пшеницы дурум, является увеличение объема мирового предложения данной культуры [1, 2].

Россия, где с XIX и до середины XX в. твердая пшеница считалась гордостью русского земледелия, высоко ценилась на зарубежных рынках, в мировом объеме производства и торговли практически отсутствует. Среднегодовое производство зерна твердой пшеницы в последние годы варьирует в пределах 0,5–0,8 млн т, что недостаточно даже для внутреннего потребления [3], так как потребность российского рынка в высококачественных макаронных изделиях по оценкам специалистов составляет 750–800 тыс. т, в крупах высокого качества – 100 тыс. т, что эквивалентно 1,5 млн т зерна [4].

С учетом перспектив развития экспорта и импортозамещения, твердой пшеницы в России необходимо выращивать не менее 2,0–2,5 млн т [5]. Поэтому для повышения производства зерна этой ценной культуры нужно увеличивать посевные площади яровой твердой пшеницы в традиционных зонах ее возделывания (Поволжье, Урал, Западная Сибирь, Алтайский край) и озимой твердой на юге России, а также заниматься созданием высокопродуктивных сортов. Эти задачи решает ряд научных учреждений этого региона, в том числе «АНЦ “Донской”».

В настоящее время в Госреестре селекционных достижений зарегистрировано 28 сортов озимой твердой пшеницы, обладающих потенциалом продуктивности от 7 до 10 т/га. Однако для более успешного распространения озимой твердой пшеницы, относительно молодой в эволюционном отношении культуры, необходима постоянная селекционная работа по улучшению как отдельных показателей, определяющих адаптивность сортов к условиям произрастания [6, 7], так и создание большого набора разноплановых взаимодополняющих сортов. Динамичная замена старых сортов новыми, более устойчивыми к комплексу абиотических и биотических стрессов, с высокими показателями качества будет способствовать повышению урожайности и валовых сборов зерна [8–10].

Цель исследований – оценить новые сорта озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина по продуктивности, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессфакторам, качеству зерна и макарон.

Материал и методы исследований

Исследования выполняли в ФГБНУ «АНЦ “Донской”» в южной зоне Ростовской области, благоприятной для возделывания озимой твердой пшеницы, в лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы в 2014–2020 гг. Севооборот трехпольный (сидеральный пар, озимая твердая пшеница, овес).

Материал для исследования – сорта озимой твердой пшеницы Яхонт, Янтарина созданы методом внутривидовой ступенчатой гибридизации с использованием в скрещиваниях исходных компонентов собственной и инорайонной селекции. Яхонт – материнская форма с.л. 390/05 («АНЦ «Донской»»), отцовская – сорт Крупинка (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко); Янтарина – с.л. 87/03 и с.л. 1816/02 («АНЦ «Донской»). Скрещивания проведены в 2006 г. (Яхонт), 2005 г. (Янтарина), индивидуальные отборы родоначальных растений – в 2008 и 2010 гг. в F2 и F4 поколениях. В 2015 и 2016 гг. они переданы на государственное сортоиспытание, в 2018 и 2020 гг. включены в Госреестр селекционных достижений с допуском к использованию в Северо-Кавказском регионе. В качестве стандарта выступал сорт Дончанка. Новые сорта изучали в конкурсном сортоиспытании в 2014–2020 гг. по предшественнику сидеральный пар, по предшественникам горох, подсолнечник, кукуруза на зерно – в 2016–2020 гг. Посев проводили сеялкой «Wintersteiger Ptotseed S» с нормой высева 500 всхожих семян на 1 м². Площадь делянки – 10 м² в шестикратной повторности, размещение делянок систематическое. В полевых условиях осуществляли все

фенологические наблюдения и учеты по методикам [11, 12]. Зимостойкость оценивали глазомерно в баллах после перезимовки в поле, морозостойкость – при промораживании в камерах холодильной установки (КНТ-1) [13]. Степень поражения бурой ржавчиной оценивали по шкале R.F.Peterson [14], мучнистой росой – по шкале ВИР [15], септориоз – О.Ю. Кремневой, Г.В. Волковой [16], твердой головни – А.И. Борггардт [17].

Уборку выполняли комбайном «Wintersteiger Classic». Качественные показатели зерна и макарон оценивали по методикам [18], SDS седиментации – по модифицированной методике для озимой твердой пшеницы [19]. Реологические свойства крупки определяли на фаринографе по методике Н. С. Васильчука [20]. Дисперсионный анализ выполнен по Б.А. Доспехову [12].

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый, рельеф – равнинный, мощный гумусовый слой до 120 см. Содержание гумуса (по Тюрину, ГОСТ 26213-91) – 3,3 %, солевая вытяжка – 7,0–7,1 ед. рН, P₂O₅ и K₂O по Мачигину (ГОСТ – 26205-91) – 24,4 и 360 мг/кг почвы.

Климат зоны характеризуется полузасушливым жарким летом и умеренно мягкой зимой. Сумма положительных температур за период активной вегетации в среднем более 3400 °С, гидротермический коэффициент – 0,8, среднегодовая температура воздуха – 9,7 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 450–600 мм. В летний период может быть до 60 суховейных дней. Метеоусловия в годы проведения исследований были контрастными (благоприятные по температурному режиму и влагообеспеченности – 2014 и 2017 гг., влажные, с превышением среднегодовой нормы на 17,9 и 76,6 мм – 2015 и 2016 гг., засушливые в разные периоды роста и развития растений – 2018, 2019 и 2020 гг.), что позволило всесторонне изучить сорта Яхонт и Янтарина по основным хозяйственно ценным признакам к лимитирующим факторам среды.

Результаты и их обсуждение

Сорта озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина относятся к Северо-Кавказской степной экологической группе, разновидность *leucurum*.

У сорта Яхонт колос пирамидальный, неопушенный, белый, среднеплотный (Д=28,5 колоска). Ости белые, длинные, грубые, зазубренные, параллельные к длине колоса или слабо расходящиеся. Колосовая чешуя ланцетная (длина 0,91 см, ширина 0,4–0,5 см) со слабой нервацией и выраженным боковым нервом. Киль выражен сильно, килевой зубец короткий, слегка изогнутый. Плечо скошенное, узкое, зерно янтарно-светлое, крупное (масса 1000 зерен – 40,8 г), стекловидное, полуудлиненной формы, с коротким слабо опушенным хохолком, средней бороздкой.

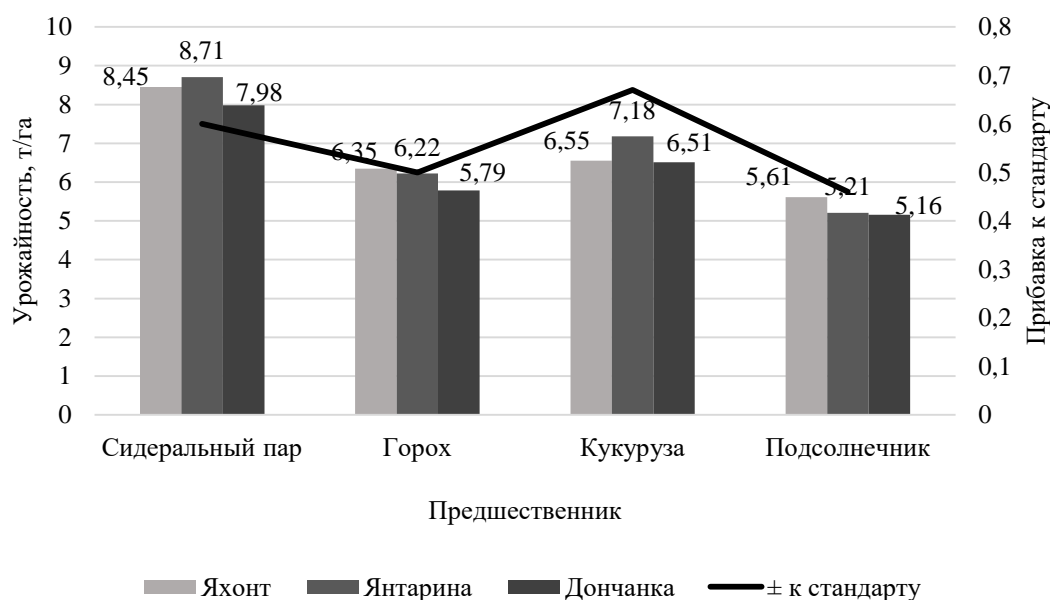
У сорта Янтарина колос пирамидальный, средней длины (6,9 см), неопушенный, среднеплотный (на 10 см длины стержня 26,7 колосков). Ости белые, длинные, расположенные параллельно колосу. Колосовая чешуя ланцетная, белой окраски, длина 1,1 см, ширина 0,4–0,5 см, со средней нервацией и хорошо выраженным боковым нервом. Килевой зубец средний, сильно изогнутый. Плечо узкое, прямое. Зерно крупное (масса 1000 зерен – 43,51 г), стекловидное, янтарно-светлое, удлиненной формы, со средним, опушенным хохолком.

За годы изучения в конкурсном сортоиспытании, обладая высокой продуктивностью, превышали стандартный сорт Дончанка по урожайности (таблица 1). Средняя урожайность сорта Яхонт составила 8,46 т/га, прибавка к стандартному сорту Дончанка – 1,17 т/га, у сорта Янтарина 8,52 т/га, превышение над стандартом – 1,23 т/га. Потенциал зерновой продуктивности высокий – 12,02 и 11,84 т/га.

Средняя прибавка к стандартному сорту Дончанка у Яхонта и Янтарина за 2016–2020 гг. составила: по гороху – 0,50 и 0,43 т/га; кукурузе на зерно – 0,04 и 0,67 т/га; подсолнечнику – 0,05 и 0,45 т/га соответственно.

Таблица 1 – Урожайность сортов озимой твердой пшеницы в конкурсном сортоиспытании по сидеральному пару

Сорт	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя
Дончанка (St.)	6,87	7,03	6,13	8,67	11,82	4,81	5,69	7,29
Яхонт	8,62	8,36	7,36	9,0	12,02	6,02	7,87	8,46
Янтарина	8,48	7,62	7,15	10,62	11,84	5,85	8,07	8,52
НСР ₀₅	0,33	0,29	0,52	0,42	0,49	0,45	0,36	

**Рисунок – Урожайность сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина по предшественникам (среднее за 2016–2020 гг.)**

Более высокая урожайность новых сортов в структурном отношении в сравнении с Дончанкой, обеспечивается плотностью продуктивного стеблестоя на единице площади, крупностью зерна, продуктивностью колоса (таблица 2). Так, количество продуктивных стеблей на 1 м² у сорта Яхонт было больше стандарта на 91 шт., масса 1000 зерен – на 4,0 г, масса зерна колоса – на 0,05 г. У сорта Янтарина это превышение составило соответственно 44 шт./м², 6,7 г и 0,21 г.

Таблица 2 – Элементы структуры урожайности сортов Яхонт и Янтарина по сидеральному пару (среднее за 2014–2020 гг.)

Признак	Яхонт	Янтарина	Дончанка (St.)	НСР ₀₅
Урожайность, т/га	8,46	8,52	7,29	0,41
Продуктивный стеблестой, шт./м ²	591	542	498	26
Количество зерен в колосе, шт.	39,9	38,4	43,6	1,5
Длина колоса, см	7,3	6,9	6,4	0,6
Количество колосков в колосе, шт.	20,7	20,4	21,4	1,4
Масса зерна с колоса, г	1,52	1,68	1,47	F _{факт.} < F _{табл.}
Масса 1000 зерен, г	40,8	43,5	36,8	F _{факт.} < F _{табл.}
Выход зерна в общей массе урожая (K _{хоз}), %	39,5	41,3	40,1	

Помимо высокой урожайности сорта Яхонт и Янтарина обладают и другими полезными хозяйственными признаками и свойствами: морозостойкостью, засухоустойчивостью, устойчивостью к поражению болезнями, такими как бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз. Пыльной головней сорта твердой озимой пшеницы не поражаются даже при искусственном заражении (таблица 3).

Таблица 3 – Хозяйственно-биологическая характеристика сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина (среднее за 2014–2020 гг.)

Признак, свойство		Яхонт	Янтарина	Дончанка (St.)	НСР ₀₅
Высота растений, см		88,1	87,2	86,2	4,2
Устойчивость к полеганию, балл		4,6	4,2	3,6	0,4
Зимостойкость	перезимовка в поле, балл	4,5	4,8	4,6	0,2
	морозостойкость (при промораживании в КНТ 1 (-17 °С), %	78,2	61,4	70,2	11,2
Засухоустойчивость, балл		4,5	4,5	4,0	
Поражаемость болезнями на инфекционном фоне (max значение)	бурой ржавчиной, %	20	20	50	
	мучнистой росой, балл	1,5	1	1	
	септориозом, %	20	20	30	
	твердой головней, %	38,2	48,1	30,4	
пыльной головней, %		0,0	0,0	0,0	

Сорта Яхонт и Янтарина среднеспелые, по высоте ниже стандарта на 1,9 и 1,0 см, устойчивые к полеганию на 1 и 0,6 балла больше стандарта соответственно. Морозозимостойкость, как наиболее значимый признак для культуры в полевых условиях, так и при промораживании в камерах холодильной установки (КНТ-1) была на уровне лучшего в этом отношении стандартного сорта Дончанка (оценка перезимовки в поле у Яхонта и Янтарина 4,5 и 4,8 балла, у стандарта 4,6 балла), при промораживании в КНТ-1 при температуре минус 17 °С – 78,2 и 61,4 %, стандарт – 70,2 %. Засухоустойчивость высокая, особенно в период налива и созревания зерна – по 4,5 балла, что превышает стандарт Дончанка на 0,5 балла. Сорта отличаются от стандарта и более высокой устойчивостью к таким болезням как бурая ржавчина, септориоз. При изучении их на инфекционном фоне поражение болезнями у стандарта составило 50 %, у Яхонта и Янтарина – на 30 % меньше.

У новых сортов озимой твердой пшеницы урожайность, устойчивость к абиотическим и биотическим факторам сочетаются с хорошим качеством зерна и макарон (таблица 4).

Таблица 4 – Технологические свойства сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина (2014–2020 гг.)

Признак	Яхонт	Янтарина	Дончанка (St.)	НСР ₀₅
зерно				
Стекловидность, %	90	91	83	1,9
Натура, г/л	806	811	765	9,5
Белок, %	14,87	14,36	14,85	0,32
Клейковина, %	26,8	25,5	24,8	0,74
Качество клейковины (ИДК), группа	II	II	III	
SDS-седиментация, мл	37	36	33	2,7
Число падения, с	391	431	387	4,4
Содержание каротиноидов, Мкг/%	533	558	608	22,7
реологические свойства крупки (теста)				
Сопrotивляемость, мин	4,5	4	3	0,25
Разжижение, е.ф.	57	65	103	2,3
Валориметрическая оценка, е.в	55	54	44	0,79
Общая оценка фаринограммы, балл	7,6	7,3	4,8	0,2
макаронны				
Цвет, балл	4,7	4	5	0,07
Прочность, г	824	829	817	15,3
Разваримость, коэф.	3,2	3,3	3,3	0,06
Потери сухого вещества при варке, %	6,6	6,4	6,5	0,08

В среднем за годы изучения (2014–2020 гг.) по сидеральному пару зерно Яхонта и Янтарины характеризовалось высокой стекловидностью (90 и 91 %), натурным весом (806 и 811 г/л), числом падения (391 и 431 с), SDS-седиментации (37 и 36 мл). По величинам этих показателей они превысили стандарт Дончанку соответственно на 7 и 8 %, 41 и 46 г/л, 4 и 44 с, 4 и 3 мл.

Особое преимущество новых сортов в сравнении с стандартным сортом Дончанка состоит в более высоком качестве клейковины, что подтверждается значениями SDS, ИДК и параметрами фаринографической оценки (сопротивляемость на 1,5 и 1,0 мин выше Дончанки, разжижение – меньше на 46 и 38 е.ф, валориметрическая оценка – больше на 11 и 10 е.в., общая оценка фаринограммы – выше на 2,8 и 2,5 баллов). Макароны желтого цвета, с хорошей прочностью, разваримостью, низкими потерями сухого вещества при варке. По большинству показателей качества сорта Яхонт и Янтарина отвечают как требованиям национального стандарта на твердую пшеницу I-II классов, так и требованиям мирового рынка, что делает их конкурентноспособными.

Выводы

Новые сорта озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина обладают высокой потенциальной продуктивностью (свыше 10 т/га) Средняя урожайность за годы изучения по сидеральному пару составила 8,46 т/га и 8,52 т/га, превысив стандарт на 1,17 и 1,23 т/га соответственно. Качество зерна и макарон хорошее (стекловидность – 91 и 90 %, натура – 806 и 811 г/л, белок – 14,87 и 14,36 %, клейковина – 26,8 и 25,5 %, число падения – 391 и 431 с, цвет макарон желтый – 4,7 и 4,0 балла, прочность отличная – 824 и 829 г, потери сухого вещества при варке 6,6 и 4,0 %), что соответствует первому и второму классу ГОСТ на твердую пшеницу. По устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам (зимостойкости, засухоустойчивости, устойчивости к полеганию и болезням) не уступают лучшему в этом отношении стандартному сорту Дончанка. Новые сорта включены в Госреестр селекционных достижений в 2018 и 2020 гг. с допуском к использованию в Северо-Кавказском регионе.

Литература

1. Гапонов С. Н., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Милованов И. В. Новый сорт яровой твердой пшеницы Памяти Васильчука // Аграрный вестник Юго-Востока. 2020. № 2 (25). С. 4–5.
2. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Содержание желтых пигментов в зерне твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.): биосинтез, генетический контроль, маркерная селекция // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24 (5). С. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642.
3. Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Лещенко М. А., Дубинина О. А., Ионова Е. В. Достижения и проблемы в селекции озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2014. № 6 (36). С. 15–22.
4. Ложкин А. Г., Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Яровая твердая пшеница в условиях Чувашской республики // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4 (58). С. 59–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-59-62.
5. Shamanin V., Abugaliyeva A., Akhmetova A., Ashirbayeva S., Baymagambetova K., Bekenova L., Belan I., Berdagulov M., Eroshenko L., Chudinov V., Fomina I., Ganeyev V., Kazak A., Korobeynikov N., Likhenko I., Malchikov P., Maltseva L., Rozova M., Rsaliyev F., Salina Ye., Sayfullin R., Sereda G., Sizikov A., Shalayeva T., Shreyder E.4, Stepanov K., Suleymenov R., Tsigankov V., Tyunin V., Yessimbekova M., Yusov V., Zelenskiy Yu., Morgounov A. Kazakhstan-Siberia network on spring wheat improvement // Proceedings of the 13th International Wheat Genetics Symposium. 2017. 470 p.
6. Яновский А. С., Мудрова А. А. Новый сорт пшеницы озимой твердой Круча // Сборник статей IX Всероссийской конференции молодых ученых, посвященная 75-летию В.М. Швецова «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина. 2016. С. 673–674.
7. Козлобаев В. В., Ермакова Н. В. Особенности роста и развития озимой твердой и тургидной пшеницы в условиях лесостепных районов Центрально-Черноземной зоны // Сельскохозяйственная биология. 2009. № 1. С. 68–71.

8. Шершнева Е. И., Шершнев А. В. Сравнительная оценка сортов яровой пшеницы // Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (в 2 кн.). Т. 1. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2018. С. 462-463.
9. Makarova T., Samofalova N., Pichkina N., Dubinina O., Popov A., Kostylenko O. Adaptability parameters of the winter durum wheat varieties of various ecology in the Rostov region // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. Art. No. 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501014.
10. 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.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Под общ. ред. М. А. Федина. М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР, 1985. 20 с.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
13. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство // Сост. Дроздов С. Н. [и др.]. Л.: ВИР, ВАСХНИЛ, ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова, 1988. 226 с.
14. Peterson R. F., Cambell A. B., Hannah A. E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canad. Journ. Res. 1948. Vol. 26. P. 496–500. DOI: 10.1139/cjr48c-033.
15. Вавилов Н. И. Иммуитет растений к инфекционным заболеваниям. М.: Наука, 1986. 519 с.
16. Кремнева О. Ю., Волкова Г. В. Диагностика и методы оценки устойчивости пшеницы к возбудителю желтой пятнистости листьев: методические рекомендации. М.: Агрус, 2007. 20 с.
17. Борггардт А. И. Избранные труды по фитопатологии. М.: Сельхозгиз, 1961. С. 207-215.
18. Методы оценки технологических качеств зерна. М.: Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина, 1971. 136 с.
19. Самофалова Н. Е., Копусь М. М., Скрипка О. В., Марченко Д. М., Самофалов А. П., Иличкина Н. П., Гричаникова Т. А. SDS-седиментация в поэтапной оценке селекционного материала озимой пшеницы по качеству зерна (научно-практические рекомендации). Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2014. 32 с.
20. Васильчук Н. С., Гапонов С. Н., Ерёмченко Л. В., Паршикова Т. М., Попова В. М., Цетва Н. М., Шутарева Г. И. Оценка прочности клейковины в процессе селекции твердой пшеницы *Triticum durum* Desf. // Аграрный вестник Юго-Востока. 2009. № 3. С 34–40.

References

1. Gaponov S. N., Shutareva G. I., Tsetva N. M., Tsetva I. S., Milovanov I. V., Burmistrov N. A. A new variety of spring durum wheat in Memory of Vasilchuk // Agrarian Reporter of South-East. 2020. No. 2 (25). P. 4–5.
2. Malchikov P. N., Myasnikova M. G. The content of yellow pigments in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) grains: biosynthesis, genetic control, marker selection // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. No. 24 (5). P. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642.
3. Samofalova N. E., Pichkina N. P., Leshchenko M. A., Dubinina O. A., Ionova E. V. Achievements and problems in selection of durum winter wheat // Grain Economy of Russia. 2014. No. 6 (36). P. 15–22.
4. Lozhkin A. G., Malchikov P. N., Myasnikova M. G. Spring durum wheat in the conditions of forest-steppe region of the Chuvash Republic // Grain Economy of Russia. 2018. No. 4 (58). P. 59–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-59-62.
5. Shamanin V., Abugaliyeva A., Akhmetova A., Ashirbayeva S., Baymagambetova K., Bekenova L., Belan I., Berdagulov M., Eroshenko L., Chudinov V., Fomina I., Ganeyev V., Kazak A., Korobeynikov N., Likhenko I., Malchikov P., Maltseva L., Rozova M., Rsaliyev F., Salina Ye., Sayfullin R., Sereda G., Sizikov A., Shalayeva T., Shreyder E.4, Stepanov K., Suleymenov R., Tsigankov V., Tyunin V., Yessimbekova M., Yusov V., Zelenskiy Yu., Morgounov A. Kazakhstan-Siberia network on spring wheat improvement // Proceedings of the 13th International Wheat Genetics Symposium. 2017. 470 p.
6. Yanovskiy A. S., Mudrova A. A. ‘Krucha’ – new durum wheat variety // Collection of scientific works of the IX All-Russian conference of young scientists dedicated to the 75th anniversary of V.M. Shevtsov “Scientific Support of the Agroindustrial Complex”. Krasnodar: Kuban State Agrarian University (Kuban SAU) Publ., 2016. P. 673–674.
7. Kozlobaev V. V., Ermakova N. V. Features of the growth and the development of winter durum and turgid wheat in conditions of the forest-steppe region of the Central Chernozem zone // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2009. No. 1. P. 68–71.

8. Shershneva E. I., Shershnev A. V. Comparative estimation of spring wheat varieties // Collection of scientific works of the XIII International Research and Practical Conference "From Agrarian Science to Agriculture" (in 2 volumes). Vol.1. Barnaul: Altai State Agrarian University Publ., 2018. P. 462–463.
9. Makarova T., Samofalova N., Ilichkina N., Dubinina O., Popov A., Kostylenko O. Adaptability parameters of the winter durum wheat varieties of various ecology in the Rostov region // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. Art. No. 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501014.
10. Mal'chikov 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.
11. Methodology for the State Variety Testing of agricultural crops // Under general editorship of Fedin M. A. Moscow: State Commission for the Variety Testing of Agricultural Crops of the USSR Ministry of Agriculture, 1985. 20 p.
12. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.
13. Diagnostics of plant resistance to stress: methodological recommendations // Compiled by Drozdov S. N. [et al.]. Leningrad: VIR, VASKhNIL, N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Growing, 1988. 226 p.
14. Peterson R. F., Cambell A. B., Hannah A. E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canad. Journ. Res. 1948. Vol. 26. P. 496–500. DOI: 10.1139/cjr48c-033.
15. Vavilov N. I. Plant immunity to infectious diseases. Moscow: Nauka, 1986. 519 p.
16. Kremneva O. Yu., Volkova G. V. Diagnostics and methods for estimating wheat resistance to the causative agent of yellow leaf spot: methodological recommendations. Moscow: Agrus, 2007. 20 p.
17. Borggardt A. I. Selected works on phytopathology. Moscow: Selkhozgiz, 1961. P. 207–215.
18. Methods for estimating technological quality of grain. Moscow: V.I. Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences, 1971. 136 p.
19. Samofalova N. E., Kopus M. M., Skripka O. V., Marchenko D. M., Samofalov A. P., Ilichkina N. P., Grichanikova T. A. SDS-sedimentation in phased assessment of winter wheat breeding material according to grain quality (scientific and practical recommendations). Rostov-on-Don: "Kniga ZAO" (Close Joint-stock Company), 2014. 32 p.
20. Vasilchuk N. S., Gaponov S. N., Yeremenko L. V., Parshikova T. M., Popova V. M., Tsetva N. M., Shutareva G. I. Gluten strength estimation during durum wheat breeding (*Triticum durum* Desf.) // Agrarian Reporter of South-East. 2009. No. 3. P. 34–40.

UDC 633.112:631.52

Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Bezuglaya T. S., Dubinina O. A.

ECONOMIC AND BIOLOGICAL TRAITS OF THE NEW WINTER DURUM WHEAT VARIETIES 'YAKHONT' AND 'YANTARINA'

Summary. In 2018 and 2020, two winter durum wheat varieties, 'Yakhont' and 'Yantarina', were included in the State Register of Breeding Achievements for the North Caucasus region. They were developed at the Agricultural Research Center "Donskoy" by the intraspecific stepwise hybridization using both varieties and lines created in the ARC "Donskoy" and from the other regions. The purpose of the current study was to evaluate the new winter durum wheat varieties 'Yakhont' and 'Yantarina' according to productivity, resistance to abiotic and biotic stress factors, grain and pasta quality. The study was carried out in 2014–2020 in the ARC "Donskoy" located in the southern part of the Rostov region, which is favorable for winter durum wheat cultivation. The soil of the experimental plot – chernozem ordinary calcareous heavy loamy. The climate of the region is characterized by semi-arid hot summers and moderately mild winters. The sum of positive temperatures is more than 3400°C; Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC) – 0.8; average annual air temperature – 9.7°C. The average annual precipitation is 450–600 mm. This paper presents the results of studying varieties according to the traits and properties mentioned above, points to their advantages compared to the standard variety 'Donchanka'. On average, over seven years of competitive testing, the varieties 'Yakhont' and 'Yantarina' showed the following: productivity – 8.46 and 8.52 t/ha; 1000-grain weight – 40.8 and 43.5 g; drought tolerance – 4.5 points both; lodging resistance – 4.6 and 4.2 points; leaf rust resistance –

10–20% both. They exceeded the standard variety 'Donchanka' by 1.17 and 1.23 t/ha; 4.0 and 6.7 g; 0.5 points; 1.0 and 0.6 points; 3.0 %; 10%, respectively. The varieties 'Yakhont' and 'Yantarina' formed higher yields due to the increased number of productive stems per 1 m² (591 and 542; the standard variety formed 498 productive stems), the productivity per head (1.52 and 1.68 g, the standard variety yielded 1.47 g). According to grain and pasta quality, 'Yakhont' and 'Yantarina' met not only the requirements of GOST R9353-2016 but also exceeded the standard variety 'Donchanka' in vitreousness (by 7.4 and 8.0%), grain nature (by 41 and 46 g/l), gluten content (by 2.0 and 0.70%), falling number (by 4 and 44 seconds), SDS-sedimentation (by 4 and 3 ml).

Keywords: durum wheat (*Triticum durum* Desf.), variety, yield, resistance, stability, quality.

Иличкина Нина Павловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Самофалова Нина Егоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Безуглая Татьяна Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: mts0304@mail.ru.

Дубинина Ольга Алексеевна, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Ilichkina Nina Pavlovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of winter durum wheat breeding and seed production, SSE "Agricultural research center «Donskoy»"; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Samofalova Nina Egorovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of winter durum wheat breeding and seed production, SSE "Agricultural research center «Donskoy»"; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Bezuglaya Tatyana Sergeevna, Cand. Sc. (Agr.), researcher of the Laboratory of winter durum wheat breeding and seed production, SSE "Agricultural research center «Donskoy»"; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: mts0304@mail.ru.

Dubinina Olga Alekseevna, agronomist of the Laboratory of winter durum wheat breeding and seed production, SSE "Agricultural research center «Donskoy»"; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.09.2021.

Дата принятия к печати – 05.11.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-101-109

УДК 633.13:632(470.11)

Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В КОНКУРСНОМ СОРТОИСПЫТАНИИ ПО ОСНОВНЫМ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫМ ПРИЗНАКАМ

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук»

Реферат. Каждый регион характеризуется определенным комплексом природных условий, поэтому необходимо иметь сорта кормовых культур, способные реализовать почвенно-климатический потенциал зоны, обладающие устойчивостью к различным возможным стресс-факторам. Цель исследований – изучить сортообразцы клевера лугового по комплексу хозяйственно полезных признаков в конкурсном сортоиспытании, выявить наиболее перспективные в условиях Европейского Севера РФ. Исследования проводили на опытном поле ФГУП «Котласское» (юго-восток Архангельской области) в 2017, 2018 и 2019 гг. Методы селекции с помощью которых были созданы сортообразцы – отбор, гибридизация, создание сложногибридных синтетических популяций. Исследования проводили согласно методическим указаниям ФНЦ «ВНИИК имени В. Р. Вильямса» и Федина М. А. Почва опытных участков – слабо-подзолистая глинистая, средне окультуренная на пермских глинах. В качестве стандарта использован среднеранний диплоидный сорт Нива. Опыт закладывали по чистому пару в четырехкратной повторности, посев провели сеялкой СКС-6-10. Оценка сортообразцов проведена по комплексу биологических и хозяйственных признаков: зимостойкость, вегетационный период на укосную массу, высота растений, облиственность, сбор сухого вещества, содержание протеина, сбор протеина, семенная продуктивность. Агрометеорологические условия были различны и позволили более достоверно оценить изучаемый селекционный материал. Все представленные перспективные селекционные образцы превышали стандарт по изученным основным хозяйственно-биологическим признакам. По каждому изучаемому показателю выделены лучшие сортообразцы. В среднем комплексная оценка за годы исследований позволила выявить наиболее ценные сортообразцы, способные в северных условиях формировать стабильную кормовую и повышенную семенную продуктивность – К-2003, СД-289, К-1809, К-1556, Таежник. Зимостойкость данных образцов варьировала от 84–94 %, сбор сухого вещества – от 9,0–9,9 т/га, урожайность семян – от 256–309 кг/га, сбор протеина от 1,26–1,35 т/га. Сорт Таежник включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2020 г. по второму региону.

Ключевые слова: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), сортообразцы, зимостойкость, кормовая и семенная продуктивность, комплексная оценка, качество корма.

Для цитирования: Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. Оценка перспективных селекционных образцов клевера лугового в конкурсном сортоиспытании по основным хозяйственно полезным признакам // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 101–109. DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-101-109.

For citation: Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. Evaluation of promising breeding samples of meadow clover in competitive variety test according to the main economically useful characteristics // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 101–109. DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-101-109.

Введение

Потепление климата, экологические угрозы, повышение энергоемкости зернового хозяйства указывают на возрастающую роль возделывания многолетних культур по отношению к однолетним [1]. В системе кормопроизводства приоритетное место принадлежит использованию наиболее продуктивных для данной местности культур и сортов, следовательно, направленная селекция кормовых культур с первостепенным учетом экологических условий становится решающим фактором. Основной целью селекции является создание системы географически и экологически дифференцированных продуктивных сортов кормовых культур, у которых совмещаются не только хозяйственно полезные признаки (продуктивность, скороспелость, устойчивость к болезням, зимостойкость), но и адаптивность к конкретным условиям [2–4]. Ряд зарубежных ученых отмечают, что для повышения пластичности «необходимо уделять больше внимания характеристике и оценке генетических ресурсов, особенно для выявления гетеротических групп, используя как классические, так и молекулярные методы» [5].

Каждый регион характеризуется определенным комплексом природных условий, в том числе спецификой проявления благоприятных и экстремальных экологических факторов. По мнению многих исследователей, для каждого региона необходимо иметь сорта кормовых культур, способные реализовать почвенно-климатический потенциал зоны, обладающие устойчивостью к различным возможным стресс-факторам [6].

Многие авторы отмечают, что одним из важнейших условий создания стабильной кормовой базы для животноводства в различных почвенно-климатических регионах является выведение и выращивание новых сортов кормовых культур, адаптированных к комплексу неблагоприятных факторов внешней среды и учетом биоклиматического потенциала [7–9].

Среди многолетних трав, возделываемых в Северном регионе Российской Федерации, ведущую роль играет клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). Посевы этой культуры в Архангельской области занимают до половины площадей, отведенных под многолетние травы. В условиях субарктической зоны РФ особую ценность в сельскохозяйственном производстве представляют сорта клевера лугового, созданные непосредственно в условиях сурового климата и обладающие хорошими кормовыми достоинствами, а также высокой семенной продуктивностью [10]. Селекционную работу с сортами клевера начали в Архангельской области в 1928 г. Учитывая большое хозяйственное значение местных сортов клевера лугового, селекционеры изучили и выделили шесть местных популяций. По своим хозяйственно ценным признакам и свойствам они превосходили районированный сорт клевера Ярославский местный. Полученные в XX в. сорта рекомендованы для производственного использования в хозяйствах соответствующих районов их распространения. Первый селекционный сорт клевера лугового – Котласский обладает высокой потенциальной урожайностью зеленой массы, но крайне нестабильной семенной продуктивностью. В 70–80-х гг. прошлого столетия созданы сорта клевера лугового Север, Двина, Беломорский, хорошо адаптированные к экстремальным северным условиям. В Государственный реестр селекционных достижений включены зимостойкие сорта Нива, Корифей, Приор, Таежник, способные давать высокий урожай зеленой массы и семян [8, 11].

Цель исследований – изучить сортообразцы клевера лугового по комплексу хозяйственно полезных признаков в конкурсном сортоиспытании, выявить наиболее перспективные в условиях Европейского Севера РФ.

Материал и методы исследований

Полевые эксперименты проводили в 2017–2019 гг. на опытном поле ФГУП «Котласское», которое расположено на юго-востоке Архангельской области. Данный

район входит в четвертый сельскохозяйственный район области, где наиболее благоприятные агроклиматические условия для производства сельскохозяйственной продукции. Сумма активных температур составляет 1700–1850 °С, годовое количество осадков – 470–620 мм, средняя продолжительность безморозного периода – 127 дней [12]. Для условий Архангельской области среднее значение гидротермического коэффициента составляет от 1,5 до 2,5 [9]. Почва опытных участков слабоподзолистая глинистая, средне окультуренная на пермских глинах. Агрохимический анализ почвы проводили в слое 0–20 см непосредственно перед посевом. Содержание гумуса – 4,05 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91)), P_2O_5 – 28,2 мг/100 г почвы, K_2O – 35,4 мг на 100 г почвы (по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91)), $pH_{\text{сол.}}$ – 6,2 ед. (ГОСТ 26483-85), гидролитическая кислотность – 0,45 мг-экв., сумма поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88)) – 18,83 мг-экв. (по Каппену в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91)), степень насыщенности основаниями – 97,5 %.

В качестве объекта исследований выступали 10 сортообразцов клевера лугового, отобранные по хозяйственной и селекционной ценности. В качестве стандарта использовали среднеранний сорт Нива. Основные наблюдения, оценки и учеты проводили на второй год жизни травостоя. В питомниках конкурсного сортоиспытания эти образцы были высеяны в 2017, 2018 и 2019 гг. беспокровно обычным рядовым способом, норма высева – 4 млн шт. на учет зеленой массы и 5,5 млн шт. на учет семенной продуктивности всхожих семян на 1 га. Учетная площадь одной делянки 10 м², повторность вариантов в опыте четырехкратная. Учет зеленой массы проводили сплошным способом в фазе бутонизация–начало цветения комбайном «Неге 212», уборку семян осуществляли комбайном «САМПО-130» при побурении 90–95 % головок.

Выполнение экспериментальных исследований проводили в соответствии с общепринятыми методиками [13–15]. При диагностировании заболеваний клевера использовали определитель болезней растений [16].

Метеорологические условия в годы проведения исследований складывались по-разному, тем самым позволив дать наиболее полную оценку изучаемому селекционному материалу и выделить ценные для селекционной работы образцы. Гидротермический коэффициент (ГТК) вегетационных периодов в годы исследований составил 1,3; 2,6; 1,2 соответственно. Так, условия 2018 и 2020 гг. оказались теплыми и умеренно влажными (ГТК = 1,3 и 1,2 соответственно). В сравнении со среднемноголетними данными вегетационный период 2019 г. по температурному режиму был холодным и отличился обильными осадками и ливневыми дождями (ГТК = 2,6).

Условия перезимовки растений клевера осенне-зимних периодов 2017/2018 и 2018/2019 сельскохозяйственных годов были благоприятными как по высоте снежного покрова, так и по температурному режиму. Высота снежного покрова в селекционных питомниках осенне-зимнего периода 2019/2020 сельскохозяйственного года достигла максимального значения 45 см к первой декаде марта. В зимние месяцы температура воздуха находилась в пределах от +4,6 до –30,9 °С, оттепели сменялись резким похолоданием. Тем не менее, температура верхнего слоя почвы держалась на уровне –6...–8 °С, на узле кущения растений – –0,5...–1,0 °С, что не представляло никакой опасности для клевера.

Для определения содержания протеина в сухом веществе пробы в количестве 1 кг отбирали в сухую погоду в одно и то же время (до 8–10 ч утра) в фазе начало цветения. Зеленую массу помещали в марлевые мешки и высушивали в тени проветриваемого помещения. В биохимической лаборатории высушенную массу мололи на мельнице «Ka Tube Mill Control», после чего образец в количестве 5–7 г помещали в инфракрасный

анализатор «NIR SCANNER model 4250» для определения энергетической и протеиновой питательности культуры в расчете на 1 кг сухого вещества.

Учет поражения растений болезнями проводили на естественном фоне во второй год жизни: корневых гнилей – весной через две недели после начала отрастания, антракноза – с фазы стеблевания и до конца цветения растений. Поражение определяли по шкалам визуальных оценок.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [17] и на IBM PC с использованием пакета компьютерных программ AGROS v. 2.07 и программы STATGRAPHICS for Windows v. 5.1.

Результаты и их обсуждение

Абиотические факторы Северного региона создают естественный селективный фон для отбора и включения в селекционный процесс образцов и сортов, характеризующихся высокой зимостойкостью, так как этот признак является основным, определяющим продуктивность сортов в северных условиях. Зимостойкость всех образцов в КСИ во все годы была достаточно высокой и составила 82–94 % (таблица 1).

Таблица 1 – Хозяйственно-биологическая характеристика перспективных сортообразцов клевера лугового (среднее за 2018–2020 гг.)

Сорт	Зимостойкость, %	Период от начала отрастания до начала цветения, сутки	Высота растений, см	Облиственность, %
Нива (St.)	84	70	105	47,2
К-2001	88	68	111	48,2
К-2003	84	63	102	48,7
СД-289	88	70	114	49,4
К-1822	85	70	113	47,5
К-1040	85	65	103	46,8
К-1696	82	65	102	47,0
К-1809	94	70	114	47,7
К-1556	90	68	110	46,5
Таежник	92	65	108	47,5
НСР ₀₅	-	-	4,9	-

Период от начала отрастания (6–10 мая) до начала цветения в среднем составил 63–70 сут. По раннеспелости выделились сорта К-2003, К-1040, К-1696, Таежник с вегетационным периодом на укосную массу 63 и 65 суток (стандарт Нива – 70 суток). Продолжительность данного периода у всех остальных изучаемых образцов составила 68 и 70 сут.

Высота растений клевера влияет на урожайность зеленой массы. Самыми высокорослыми оказались образцы СД-289, К-1822, К-1809 и К-1556, высота растений этих образцов варьировала в пределах 110–114 см.

Питательная ценность кормовой массы клевера в значительной степени зависит от сортовых особенностей и определяется в первую очередь облиственностью растений и содержанием сырого протеина. В наших исследованиях показатели облиственности по сортам варьировали от 46,5 до 49,4 %, а содержание протеина находилось в пределах от 12,3 до 14,5 %. Качество корма по содержанию протеина у большинства сортов не превышало стандарт.

Наиболее существенное превосходство над стандартом по облиственности (на 2,2 %) и по содержанию протеина (на 1,7 %) отмечено у образца СД-289 (таблица 2).

Учет кормовой продуктивности проводили в фазе «бутонизация – начало цветения». Наибольший сбор сухого вещества по сортам отмечен в 2019 г., когда в июне при пониженном температурном режиме осадков выпало больше нормы. Поэтому период формирования вегетативной массы был растянут и началось активное ее нарастание.

Сбор сухого вещества по представленным перспективным сортам варьировал от 8,3 до 9,9 т/га (Нива (St.) – 7,0 т/га). Сорта Таежник, К-1556, СД-289, К-2001 превысили стандарт на 2,2–2,4 т/га. По высокому сбору протеина выделились К-2001, К-2003, СД-289, К-1809, К-1556, Таежник, превысившие стандарт на 0,30–0,45 т/га.

Таблица 2 – Выход питательных веществ с единицы площади клевера лугового в конкурсном сортоиспытании

Сорт	Сбор сухого вещества, т/га					Содержание протеина в сухом веществе (в среднем), %	Сбор протеина, т/га	+/- к стандарту, т/га
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	+/- к стандарту			
Нива (St.)	6,0	8,3	6,8	7,0	-	12,8	0,90	-
К-2001	7,5	10,8	9,8	9,4	+2,4	13,5	1,32	+0,42
К-2003	7,5	10,1	9,4	9,0	+2,0	14,0	1,26	+0,36
СД-289	7,7	10,5	9,8	9,3	+2,3	14,5	1,35	+0,45
К-1822	6,9	9,0	8,9	8,3	+1,3	12,9	1,07	+0,17
К-1040	6,7	9,1	8,1	8,0	+2,0	12,3	0,98	+0,08
К-1696	7,9	8,7	9,2	8,6	+1,6	12,7	1,09	+0,19
К-1809	-	9,4	9,0	9,2	+1,8*	13,0	1,20	+0,30*
К-1556	-	10,1	9,7	9,9	+2,3*	12,8	1,27	+0,37*
Таежник	7,5	10,5	9,7	9,2	+2,2	13,0	1,20	+0,30
НСР ₀₅	0,6	0,5	1,1		-	-	-	-

Примечание. «-» – сорт не был включен в сортоиспытание, * сравнивали со стандартом в среднем за 2019 и 2020 гг.

В настоящее время нет сортов для условий Северного региона со стабильной семенной продуктивностью. Поэтому важно выявить естественный потенциал сортов, сочетающий высокую семенную продуктивность с другими хозяйственно ценными свойствами. В наших исследованиях на семенную продуктивность клевера лугового также в сильной степени повлияли агрометеорологические условия вегетационных периодов. Одним из самых неблагоприятных годов для получения семян клевера был 2019 г., когда ГТК составлял 2,6, а для получения высокой семенной продуктивности в этой зоне его показатели не должны превышать 1,6. Сравнение показателей семенной продуктивности сортообразцов показало, что она в гораздо большей степени зависит от метеорологических условий, чем кормовая. Практически все изучаемые перспективные сорта превышают стандарт по семенной продуктивности, но наибольшие значения (превышение стандарта на 83–118 кг/га) этого показателя зафиксированы у сортообразцов К-2003, К-1809, К-1556, Таежник (таблица 3). Эти образцы представляют наибольшую ценность в качестве исходного материала для получения сортов с высокой семенной продуктивностью.

Таблица 3 – Семенная продуктивность сортообразцов клевера лугового

Сорт	Урожайность семян, кг/га				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	+/- к стандарту
Нива (St.)	153	70	311	178	-
К-2001	167	96	435	233	+ 55
К-2003	148	102	533	261	+ 83
СД-289	164	99	504	256	+ 78
К-1822	170	87	446	234	+ 56
К-1040	164	73	299	179	+ 1
К-1696	156	89	344	196	+ 18
К-1809	-	105	420	263	+ 72*
К-1556	-	110	507	309	+ 118*
Таежник	170	104	525	266	+ 88
НСР ₀₅	11	13	28		

Примечание. «-» – сорт не был включен в сортоиспытание, * сравнивали со стандартом в среднем за 2019 и 2020 гг.

Одним из наиболее важных параметров сорта является его устойчивость к болезням. Возделываемые в Северном регионе сорта клевера лугового могут поражаться мучнистой росой, различными видами пятнистостей, вирусными инфекциями. Но наибольший ущерб клеверу приносит поражение травостоев корневыми гнилями (грибы рода *Fusarium*) и антракнозом (*Aureobasidium pullulans* (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud.). Поражение корневыми гнилями по сортообразцам в среднем за три года варьировало от 14,6 до 22,5 % (стандарт Нива 16,5 %), по антракнозу от 8,0 до 18,4 % (стандарт Нива 11,0 %). Поражение, согласно международному классификатору СЭВ, по обоим заболеваниям отмечено как слабое. Среди изучаемых образцов выделены две популяции с наибольшей устойчивостью к корневым гнилям и антракнозу К-1696 (8,4 и 14,6 %) и К-1809 (8,0 и 15,0 %). Положительной достоверной зависимости развития корневых гнилей и антракноза от погодных условий не выявлено.

Выводы

Комплексная оценка за годы исследований в конкурсном сортоиспытании позволила выявить наиболее ценные популяции, которые представляют интерес для селекционной работы в северных условиях РФ: раннеспелые – К-2003, К-1040, К-1696, Таежник (с вегетационным периодом на зеленую массу 63–65 суток); высокопродуктивные по укосной массе – Таежник, К-1556, СД-289, К-2001 (9,2–9,9 т/га); с повышенной семенной продуктивностью – К-2003, К-1809, К-1556, Таежник (261–309 кг/га); высокопродуктивные по сбору протеина – К-2001, К-2003, СД-289, К-1809, К-1556, Таежник (1,20–1,35 т/га); устойчивые к корневым гнилям и антракнозу – К-1696 (8,4 и 14,6 %) и К-1809 (8,0 и 15,0 %).

По комплексу хозяйственно ценных признаков выделились сорта клевера лугового К-2003, СД-289, К-1809, К-1556, Таежник с зимостойкостью на уровне стандарта и достоверно превысившие стандарт по сбору сухого вещества на 1,8–2,3 т/га, сбору протеина – на 0,30–0,45 т/га, семенной продуктивности – на 72–118 кг/га, устойчивые к корневым гнилям и антракнозу. Эти сорта будут вовлечены в селекционный процесс для создания нового пластичного, адаптированного к северным условиям сорта клевера лугового. Сорт Таежник включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2020 г. по второму региону.

Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования»

Литература

1. Шаманин В. П., Моргунов А. И., Айдаров А. Н., Шепелев С. С., Чурсин А. С., Потоцкая И. В., Хамова О. Ф., DeNaan L.R. Крупнозерный сорт пырея сизого (*Thinopyrum intermedium*) Сова как альтернатива многолетней пшенице // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 3. С. 450–464. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.450rus.
2. Сорта кормовых культур селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса»: монография. М.: ООО «Угрешская Типография», 2019. 92 с.
3. Кабашов А. Д., Лоскутов И. Г., Власенко Н. М., Лейбович Я. Г., Маркова А. С., Филоненко З. В., Разумовская Л. Г. Сорта овса Немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 1. С. 110–118. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118.
4. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Лоскутов И. Г., Пермякова С. В., Кротова Н. В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса плеччатого по урожайности в условиях Кировской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79.
5. Woodfield D. R., Brummer E. S. Integration of molecular methods for maximizing the genetic potential of feed legumes // Proceedings of the 2nd International Symposium, Molecular Breeding of Forage Crops. Victoria, Australia, 2001. Vol. 10. P. 51–65. DOI: 10.1007/978-94-015-9700-5.

6. Сапега В. А. Продуктивность и параметры адаптивности сортов проса при их выращивании на зеленую массу и семена // Кормопроизводство. 2014. № 12. С. 27–31.
7. Косолапов В. М., Пилипко С. В., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур – залог успешного развития кормопроизводства // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 4. С. 35–37.
8. Корелина В. А., Батакова О. Б., Зобнина И. В. Агробиологические особенности нового сорта клевера лугового Таежник // Земледелие. 2020. № 6. С. 34–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10608.
9. Корелина В. А., Батакова О. Б. Перспективы интродукции *Symphytum asperum* Lepech. в условиях крайнего севера РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 41–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47.
10. Корелина В. А. Особенности экологической селекции клевера на повышенную зимостойкость и устойчивость к другим неблагоприятным факторам среды в условиях Северного региона Нечерноземной зоны России // В кн: Экологическая селекция и семеноводство клевера лугового. М.: Эльф ИПР, 2012. С. 79–83.
11. Корелина В. А., Батакова О. Б. Новый сорт клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) Приор // Кормопроизводство. 2017. № 7. С. 29–32.
12. Агроклиматические ресурсы Архангельской области. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 136 с.
13. Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера. М.: ВНИИК, 2002. 72 с.
14. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Под общ. ред. М. А. Федина. М.: Колос, 1985. 267 с.
15. Методические рекомендации по изучению устойчивости кормовых культур к возбудителям грибных болезней на полевых искусственных инфекционных фонах. М.: ВНИИК, 1999. 39 с.
16. Хохряков М. К., Доброзракова Т. Л., Степаков К. М., Летова М. Ф. Определитель болезней растений. СПб.: Издательство «Лань», 2003. 592 с.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Shamanin V. P., Morgunov A. I., Aidarov A. N., Shepelev S. S., Chursin A. S., Pototskaya I. V., Khamova O. F., DeHaan L. R. Large-grained wheatgrass variety Sova (*Thinopyrum intermedium*) as an alternative to perennial wheat // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2021. Vol. 56. No. 3. P. 450–464. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.450eng.
2. Varieties of forage crops developed at Federal Scientific Center of Forage Production and Agroecology named after V. R. Williams: monograph. Moscow: "Ugreshskaya Tipografiya OOO" (Limited Liability Company), 2019. 92 p.
3. Kabashov A. D., Loskutov I. G., Vlasenko N. M., Leibovich Ya. G., Markova A. S., Filonenko Z. V., Razumovskaya L. G. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review) // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020. Vol. 181. No. 1. P. 110–118. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118.
4. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Loskutov I. G., Permyakova S. V., Krotova N. V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021. Vol. 182. No. 1. P. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79.
5. Woodfield D. R., Brummer E. S. Integration of molecular methods for maximizing the genetic potential of feed legumes // Proceedings of the 2nd International Symposium, Molecular Breeding of Forage Crops. Victoria, Australia, 2001. Vol. 10. P. 51–65. DOI: 10.1007/978-94-015-9700-5.
6. Сапега В. А. Productivity and adaptability parameters of millet varieties cultivated for green forage and seeds // Fodder Production. 2014. No. 12. P. 27–31.
7. Kosolapov V. M., Pilipko S. V., Kostenko S. I. New varieties of fodder crops is the guarantee of successful development of fodder production // Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2015. Vol. 29. No. 4. P. 35–37.
8. Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V. Agrobiological features of a new variety of meadow clover 'Taezhnik' // Zemledelie. 2020. No. 6. P. 34–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10608.
9. Korelina V. A., Batakova O. B. Prospects for the introduction of *Symphytum asperum* Lepech. into the Far North of the Russian Federation // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021. Vol. 182. No. 1. P. 41–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47.
10. Korelina V. A. Features of ecological selection of clover for increased winter hardiness and resistance to other adverse environmental factors in the conditions of the Northern region of the Non-Chernozem zone of Russia // In book: Ecological selection and seed production of meadow clover. Moscow: Elf IPR, 2012. P. 79–83.

11. Korelina V. A., Batakova O. B. Novel variety of red clover (*Trifolium pratense* L.) 'Prior' // Fodder production. 2017. No. 7. P. 29–32.
12. Agro-climatic resources of the Arkhangelsk region. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 136 p.
13. Methodological guidelines for the selection and primary seed production of clover. Moscow: VNIIC, 2002. 72 p.
14. Methodology of the State variety testing of agricultural crops. Issue 2. Under the general editorship of M. A. Fedin. Moscow: Kolos, 1985. 267 p.
15. Methodological recommendations for the study of the resistance of forage crops to fungal pathogens on field artificial infectious backgrounds. Moscow: VNIIC, 1999. 39 p.
16. Khokhryakov M. K., Dobrozrakova T. L., Stepanov K. M., Letova M. F. Determination of plant diseases. Saint-Petersburg: Publishing house "Lan", 2003. 592 p.
17. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 633.13:632 (470.11)

Korelina V. A., Batakova O. B., Zobnina I. V.

EVALUATION OF PROMISING BREEDING SAMPLES OF MEADOW CLOVER IN COMPETITIVE VARIETY TESTING ACCORDING TO THE MAIN ECONOMICALLY USEFUL CHARACTERISTICS

Summary. *Each region is characterized by a certain set of natural conditions. Therefore, it is necessary to have varieties of forage crops that can realize soil and climatic potential of the zone and are resistant to various possible stress factors. The purpose of the research is: study the variety samples of meadow clover according to the complex of economically useful characteristics in the competitive variety testing; identify the most promising ones in the conditions of the European North of the Russian Federation. The research was carried out in 2017, 2018 and 2019 at the experimental field of FSUE "Kotlasskoe", which is located in the south-east of the Arkhangelsk region. Such breeding methods as selection, hybridization, creation of complex hybrid synthetic populations were used to create the studied variety samples. The studies were carried out according to the guidelines of the Federal Research Center "VNIIC named after V. R. Williams" and methodology of the State variety testing of agricultural crops (under the general editorship of Fedin M. A.). Soil of the experimental plots is weakly podzolic clay, medium cultivated on Permian clays. Mid-early diploid variety 'Niva' was used as a standard. The experiment was laid on a bare fallow; four-fold replication. Sowing was carried out with a SKS-6-10 seeder. Variety samples were evaluated according to a set of biological and agricultural characteristics: winter hardiness, vegetation period per mowing mass, plant height, leafiness, dry matter collection, protein content, protein collection, seed productivity. Agrometeorological conditions during the years of research were different, which allowed us to obtain more reliable results in assessing studied breeding material. All presented promising breeding samples exceeded the standard one in terms of the studied basic economic and biological characteristics. According to each studied indicator, we selected the best varieties. On average, over the years of research, a comprehensive assessment allowed us to identify the most valuable varieties that can form stable feed and increased seed productivity in northern conditions. They are K-2003, SD-289, K-1809, K-1556, 'Taezhnik'. Winter hardiness of these samples varied from 84 to 94 %, dry matter collection – from 9.0 to 9.9 t/ha, seed yield – from 256 to 309 kg/ha, protein collection – from 1.26 to 1.35 t/ha. Variety 'Taezhnik' was included in the State Register of Breeding Achievements in 2020 for the 2nd region.*

Keywords: *meadow clover (*Trifolium pratense* L.), variety samples, winter hardiness, feed and seed productivity, comprehensive assessment, feed quality.*

Корелина Валентина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией растениеводства, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук»; 165390, Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23; e-mail: 19651960@mail.ru.

Батакова Ольга Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук»; 165390, Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23; e-mail: 19651960@mail.ru.

Зобнина Ирина Валентиновна, научный сотрудник лаборатории растениеводства, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук»; 165390, Россия, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 23; e-mail: 19651960@mail.ru.

Korelina Valentina Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), head of the Laboratory of crop production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 23, naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 165390, Russia; e-mail: 19651960@mail.ru.

Batakova Olga Borisovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of crop production N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 23, naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 165390, Russia; e-mail: 19651960@mail.ru.

Zobnina Irina Valentinovna research associate of the Laboratory of plant production N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 23, naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 165390, Russia; e-mail: 19651960@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 14.04.2021.

Дата принятия к печати – 27.07.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-110-118

УДК 581.1:57.032:57.033

Лукьянов В. А.¹, Горбунова С. Ю.²

ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA SOROKINIANA* ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА КУРИНОМ ПОМЁТЕ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр»;

²Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»

Реферат. Производство биомассы микроводорослей на отходах сельского хозяйства имеет высокий потенциал, который связан не только с решением ряда экологических проблем, но и с получением коммерческого эффекта. Цель исследований – определение продукционных характеристик микроводоросли *Chlorella sorokiniana* при выращивании в разных световых условиях на питательной среде, приготовленной на основе куриного помёта. Исследования проводили в лабораториях ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в 2020–2021 гг. Объект исследования – культура микроводоросли *Chlorella sorokiniana* (IPPAS C-1). Куриный помёт в пересчете на сухой вес содержал 3,82 % общего азота, 1,93 % фосфора, 55,26 % органического вещества. Токсичные элементы находились в допустимых пределах. Отличительной особенностью способа приготовления питательной среды на основе помёта являлось его использование без предварительного сбраживания в дозе 7 г/л. Для работы использовали фотобиореакторы объёмом 5 л закрытого типа с постоянным искусственным освещением и 20 л открытого типа с естественным освещением. Слой культуры для всех вариантов эксперимента составлял 0,15 м. Искусственное освещение было представлено газоразрядными лампами ДНАТ 150 Вт и энергосберегающими светодиодными лампами LED Aquael 10 Вт. Освещённость при искусственном освещении составляла 20 и 40 кЛк, при естественном – 36 и 70 кЛк. При сравнительной оценке разных источников освещения было установлено, что использование питательной среды на основе куриного помёта позволило получить культуру *Chlorella sorokiniana* с плотностью клеток от 38,67 до 62,66 млн мл⁻¹ при LED освещении, от 43,67 до 76,67 млн мл⁻¹ при ДНАТ освещении и от 17,33 до 41,33 млн мл⁻¹ при естественном освещении. Рассматривая три вида освещения, следует отметить, что наиболее оптимальным способом можно считать культивирование *Chlorella sorokiniana* на курином помёте с естественным и LED освещением. Варианты с ДНАТ системой освещения были более энергозатратны несмотря на то, что в них наблюдалась более высокая плотность клеток.

Ключевые слова: хлорелла, микроводоросли, продуктивность, освещённость, ДНАТ, LED, куриный помёт, утилизация сельскохозяйственных отходов, органические удобрения.

Для цитирования: Лукьянов В. А., Горбунова С. Ю. Продуктивность микроводоросли *Chlorella sorokiniana* при выращивании на курином помёте в разных условиях освещения // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 110–118. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-110-118.

For citation: Lukyanov V. A., Gorbunova S. Yu. Productivity of microalgae *Chlorella sorokiniana* when growing on chicken manure under different lighting conditions // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 110–118. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-110-118.

Введение

С ростом населения и, соответственно, увеличением спроса на сельскохозяйственную продукцию, возникает необходимость в улучшении способов

переработки производственных отходов и поиске оптимальных методов их утилизации. Несанкционированные зоны хранения куриного помёта являются существенным источником не только загрязнения почв, водоёмов и подземных вод, но и причиной возникновения и распространения резкого неприятного запаха, а также ускоренного роста и развития возбудителей опасных заболеваний. Куриный помёт запрещено использовать без предварительной переработки. Например, при попадании в почву свежего помёта, она обсеменяется микрофлорой, что создает экологическую и санитарную опасность [1, 2].

Сегодня куриный помёт используется как органическое удобрение. Согласно государственному каталогу пестицидов и агрохимикатов в РФ уже зарегистрировано около 10 органических удобрений на его основе. Существует относительно немного технологичных способов переработки куриного помёта, и они имеют разную экономическую эффективность. Среди них выделяют: компостирование с применением различных бактериальных препаратов, вермикомпостирование с использованием определённых видов червей, переработка личинками мух, сушка с термообработкой, термическая деполимеризация, сжигание, пиролиз, плазменная газификация, анаэробное сбраживание с образованием биогаза и др. [3, 4].

Одним из эффективных способов является использование микроводорослей, так как они способны при определённых условиях использовать элементы питания, которые содержит куриный помёт – азот, фосфор, калий, медь, марганец, цинк, кобальт, бор и др. Его применение в качестве питательной среды позволяет значительно снизить затраты на производство микроводорослей [5, 6]. Зная кинетические характеристики роста и потребности микроводорослей в том или ином элементе питания, можно контролировать степень ассимиляции этих элементов.

Биомасса микроводоросли *Chlorella* содержит в своём составе (в пересчете на сухое вещество) 50–55 % белка, из них около 10–15 % занимают аминокислоты, 5–10 % углеводов, 15–30 % липидов, в том числе ненасыщенные жирные кислоты, макро- и микроэлементы, витамины, пигменты. Она может быть использована в разных отраслях экономики – в животноводстве, аквакультуре, растениеводстве, некоторые виды подходят для производства биотоплива и биополимеров [7–9]. Например, микроводоросль *Chlorella* применяют в органических и органоминеральных удобрениях, так как она способствует накоплению органических и минеральных форм азота в почве, выделению биологически активных веществ, которые стимулируют жизнедеятельность многих полезных почвенных микроорганизмов и сельскохозяйственных культур [10–12]. В животноводстве и рыбоводстве её применяют с целью стимуляции иммунитета, повышения продуктивности, сохранности, снижения конверсии кормов [13–15].

Таким образом, использование отходов птицефабрик для культивирования микроводорослей позволяет с одной стороны получить ценную по составу биомассу фотосинтезирующих организмов, а с другой стороны – утилизировать отходы, за счёт снижения в их составе уровня азота, фосфора, железа и других веществ. Поэтому учёные всего мира уделяют большое внимание разработке новых и усовершенствованию существующих методов утилизации куриного помёта и очистки сточных вод благодаря ассимиляционным способностям разных видов микроводорослей, в частности *Chlorella* [16–18]. Но не стоит забывать, что микроводоросли являются светозависимыми микроорганизмами, их культивирование сопряжено с высокими энергетическими затратами на освещение. Поэтому в настоящее время возможность снижения энергетических затрат при выборе источника освещения для культивирования микроводорослей может быть рассмотрена в научно-практическом аспекте, как один из способов повышения их производственных характеристик.

Цель исследований – определение продукционных характеристик микроводоросли *Chlorella sorokiniana* при выращивании в разных световых условиях на питательной среде, приготовленной на основе куриного помёта.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в лабораториях ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в 2020–2021 гг. Объектом исследования являлась культура микроводоросли *C. sorokiniana* (IPPAS C-1) из коллекции Института физиологии растений РАН.

Для исследований использовали фотобиореакторы двух типов. Первый – закрытого типа, который представлял собой прозрачную ёмкость из полиэтилентерефталата (ПЭТ) объёмом 5 л, размерами 0,15×0,15×0,30 м, с постоянным вертикальным искусственным освещением (ФБР 5 л). В качестве второго использовали бассейн открытого типа, объёмом 20 л, выстланный полиэтиленовой плёнкой размером 0,6×0,25×0,15 м, с естественным поверхностным освещением (ФБР 20 л). Освещаемый слой культуры микроводорослей для всех вариантов эксперимента был одинаковым и составлял 0,15 м.

Искусственное освещение (круглосуточное) было представлено газоразрядными лампами ДНАТ 150 Вт и энергосберегающими светодиодными лампами LED Aquael 10 Вт, спектр которых включает красный и синий свет, необходимый для процесса фотосинтеза. Регулировку источника освещения до необходимой интенсивности корректировали путём приближения/отдаления фотобиореактора, а при естественном освещении выбирали определённые солнечные дни согласно прогнозу погоды, с дальнейшим определением освещённости люксметром. Естественное освещение включало 16 часов светового дня, при этом максимальная освещённость приходилась на период времени с 12:00 до 17:00 часов. В таблице 1 представлены средние значения интенсивности освещения на поверхности фотобиореакторов для шести вариантов эксперимента.

Таблица 1 – Источник и интенсивность освещения микроводоросли *Chlorella sorokiniana* при выращивании на курином помёте

№ эксперимента	Вид фотобиореактора	Объём фотобиореактора, л	Мощность освещения, Вт	Освещённость, клк
1	закрытого типа	5	10 (LED)	20
2				40
3			150 (ДНАТ)	20
4				40
5	открытого типа	20	естественное освещение	36
6				70

В течение всего эксперимента температура в ФБР 5 л закрытого типа (при искусственном освещении) находилась в диапазоне 26–27 °С, а в ФБР 20 л открытого типа (при естественном освещении) она изменялась от 21 до 27 °С.

Отличительной особенностью способа приготовления питательной среды на основе куриного помёта являлось его использование без предварительного сбраживания, в течение всех циклов культивирования он находился в фотобиореакторах. Высушенный при температуре 85–90 °С помёт использовали в дозе 7 г/л воды, что обеспечивало относительно оптимальную кислотность культуральной среды с *C. sorokiniana*: показатель рН в ФБР 5 л изменялся от 7,05 до 8,14, в ФБР 20 л – от 7,56 до 8,81 ед.

Следует отметить, что дозу куриного помёта можно изменить в соответствии с его составом, так как куриный помёт в зависимости от рациона питания птицы, может иметь разное количество основных элементов питания. Поэтому в ФГБУ ГСАС «Курская» проведен химический анализ используемого в эксперименте куриного помёта (таблица 2).

Таблица 2 – Химический состав куриного помёта (в пересчёте на сухое вещество)

Показатель	Нормативные документы (НД) на методы испытаний	Результаты испытаний
Водородный показатель pH, ед.	ГОСТ 27979	8,11
Массовая доля органического вещества, %	ГОСТ 27980	55,26
Общий азот, %	ГОСТ 26715	3,82
Общий фосфор, %	ГОСТ 26717	1,93
Общий калий, %	ГОСТ 26718	2,79
Свинец, млн ⁻¹	РД 52.18.289-90	<20
Кадмий, млн ⁻¹	РД 52.18.289-90	<1,0
Ртуть, мг/кг	ПНД Ф 16.1:2:3:3.10-98	<0,1
Мышьяк, мг/кг	ПНД Ф 16.1:2:2:3.17-98	<0,2

Куриный помёт в пересчете на сухой вес в достаточном количестве содержал основные элементы питания для развития микроводоросли *C. sorokiniana*. Токсичные элементы находились в допустимых пределах.

Микробиологические показатели определяли в ОБУ «Курская облветлаборатория»: *Pseudomonas aeruginosa* по ГОСТ Р 54755-2011, энтеропатогенные типы *Escherichia* по ГОСТ 31747-2012, анаэробы по ГОСТ 32012-2012, бактерии рода *Salmonella* по ГОСТ 31659-2012.

Продуктивность культуры оценивали путём подсчёта плотности (численности) клеток в камере Горяева по ГОСТ Р 54496-2011 (ISO 8692:2004).

Рост микроводорослей во всех вариантах эксперимента имел линейный характер, который описан уравнением прямой ($R_{sq} = 0,99$) для концентрации клеток микроводорослей [19]:

$$N = N_0 + P_n \cdot t,$$

где N_0 , N – начальная и конечная концентрации клеток;

t – время от начала культивирования, сутки;

P_n – скорость увеличения концентрации клеток (продуктивность культуры) (млн кл. мл⁻¹ сут⁻¹).

В таблицах представлены средние значения и рассчитанные доверительные интервалы ($\bar{x} \pm \Delta \bar{x}$).

Результаты и их обсуждение

Общеизвестно, что значения продуктивности микроводорослей на курином помёте и других сельскохозяйственных отходах имеют широкий диапазон, который в большинстве случаев зависит от способа предварительной подготовки помёта, от биологических особенностей используемого штамма микроводорослей, источника и интенсивности освещения, наличия или отсутствия дополнительного источника углекислого газа, режима культивирования, конструкции фотобиореактора.

Согласно данным, представленным в работах [19, 20], культивирование микроводорослей на органических отходах позволяет увеличить их продуктивность не только потому что в них имеются доступные формы азота, фосфора, железа и др. питательных вещества, но и за счёт присутствия в них разнообразных бактерий, которые часто встречаются в органических отходах. Например, бактерии рода *Bacillus* в симбиозе с микроводорослями способствуют разложению органических соединений и образованию углекислого газа (CO₂), что в значительной степени определяет продуктивность микроводорослей. С целью снижения экономических затрат в нашем случае во всех вариантах эксперимента выращивание микроводорослей осуществляли без дополнительной подачи углекислого газа.

При анализе помёта на микробиологические показатели в начале и конце эксперимента, патогенных микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa*, энтеропатогенных типов *Escherichia*, анаэробов, бактерий рода *Salmonella* не обнаружено.

Начальная концентрация клеток *C. sorokiniana* в среднем для всех вариантов эксперимента составляла 5 млн кл. мл⁻¹ ± 5 %, цикл культивирования – пять суток. Серия предварительно проведённых экспериментальных исследований показала, что такие циклы культивирования, с периодом не более пяти суток, являются наиболее экономически эффективными при культивировании микроводоросли *Chlorella* в промышленных масштабах на курином помёте.

Полученные результаты позволяют судить о возможности использования куриного помёта для производства биомассы *C. sorokiniana*. При использовании LED освещения с интенсивностью 20 кЛк конечная концентрация её клеток составила 38,67 млн кл. мл⁻¹, с интенсивностью 40 кЛк – 62,66 млн кл. мл⁻¹ (таблица 3).

Таблица 3 – Кинетические характеристики микроводоросли *C. sorokiniana*, выращенной на курином помёте

Источник освещения	Интенсивность освещения, кЛк	P_n , млн кл. мл ⁻¹ сут ⁻¹ ($R_{sq}=0,99$)	* B_m , млн кл. мл ⁻¹
Лампа LED 10 Вт	20	7,65	38,67 ± 2,70
	40	12,40	62,66 ± 4,38
ДНАТ 150 Вт	20	8,61	43,67 ± 3,48
	40	15,17	76,67 ± 4,58
Естественное освещение	36	3,43	17,33 ± 1,37
	70	8,18	41,33 ± 2,10

Примечание. * B_m – конечная концентрация клеток в фотобиореакторе (млн кл. мл⁻¹).

Интересно отметить, что с освещением ДНАТ максимальные концентрации клеток микроводорослей при тех же интенсивностях оказались выше на 11,5 и 18,3 % соответственно. Принимая во внимание, что мощность ламп LED значительно (в 15 раз) ниже по сравнению с системой освещения ДНАТ, можно считать, что в данных условиях освещение LED оказалось более экономически эффективным. С другой стороны, применение ДНАТ освещения возможно и целесообразно, если при производстве микроводорослей стоит задача в освещении суспензии совместно с подогревом, а также при использовании светоотражателей для лучшего светораспределения по освещаемой поверхности фотобиореактора.

При использовании естественного освещения в качестве единственного источника света значения максимальной концентрации клеток составили 17,33 млн кл. мл⁻¹ при интенсивности освещения 36 кЛк и 41,33 млн кл. мл⁻¹ при 70 кЛк. По сравнению с искусственным освещением LED, продуктивность *C. sorokiniana* при естественном свете снизилась в 2,2 и 1,5 раза по интенсивности освещения соответственно. Это связано с изменениями температуры воздуха в ночное время суток, которая снижалась до 21 °С, а также неравномерностью интенсивности падающего света в утреннее, дневное и вечернее время. Логично полагать, что, решив вопрос по термостабилизации суспензии *C. sorokiniana* в фотобиореакторе, возможно увеличение её продуктивности. Учитывая полученные значения и исключение затрат на освещение, такой способ выращивания является наиболее экономически привлекательным из трёх рассмотренных.

Согласно представленному на мировом рынке ассортименту продукции на основе микроводоросли *Chlorella*, мы можем дать рекомендации по возможным вариантам её использования (таблица 4).

Таблица 4 – Перечень возможной продукции на основе *C. sorokiniana*, выращенной на курином помёте

Продукт	Отрасль применения	Способ применения	Решение проблемы
Кормовая добавка	животноводство, рыбоводство	добавление в комбикорм	повышение неспецифической резистентности, привесов, сохранности, снижение конверсии корма
Органическое, органоминеральное удобрение	растениеводство	некорневая подкормка, внесение в почву	увеличение микробиологической активности почвы, урожайности сельскохозяйственных культур

Биомассу микроводоросли *C. sorokiniana*, произведенной на курином помёте, можно использовать в сельском хозяйстве или других отраслях промышленности. Например, её выгодно применять в отраслях животноводства или в аквакультуре. Благодаря высокой жизнеспособности биомассу этой микроводоросли можно использовать как органическое или органоминеральное удобрение в жидкой и сухой форме для внесения в почву и некорневой подкормки.

Принимая во внимание тот факт, что куриный помёт может содержать различные формы патогенных микроорганизмов, необходимо разработать технологию производства продукции на основе микроводорослей, которая будет отвечать современным требованиям качества и безопасности.

Выводы

Продуктивность микроводорослей, в частности *C. sorokiniana* зависит от условий культивирования и, в первую очередь, она лимитирована интенсивностью освещения и доступными формами углерода. Предлагаемый авторами способ позволяет производить *C. sorokiniana* без использования углекислого газа. Куриный помёт, подготовленный по технологии авторов с содержанием азота 3,82 % и фосфора 1,93 % в дозе 7 г/л позволил получить продуктивность микроводоросли *C. sorokiniana* при LED освещении от 38,67 млн кл. мл⁻¹ до 62,66 млн кл. мл⁻¹, при ДНАТ освещении от 43,67 до 76,67 млн кл. мл⁻¹ (при 20 и 40 кЛк соответственно), при естественном освещении от 17,33 до 41,33 млн кл. мл⁻¹ (36 и 70 кЛк соответственно).

Рассматривая три вида освещения, наиболее эффективным является способ культивирования *C. sorokiniana* на курином помёте с естественным освещением, так как затраты на освещение при промышленном культивировании занимают весомую часть в общей структуре производственных затрат. Освещение LED целесообразно использовать там, где нет условий для естественного освещения, а также, когда основной задачей является получение максимально высоких продуктивностей микроводорослей в короткие сроки. Наиболее энергозатратной оказалась система освещения ДНАТ, однако, при оптимальном светораспределении, она может быть использована на предприятиях с невысокими объёмами производства.

Микроводоросль *C. sorokiniana*, выращенную на курином помёте, можно с высокой степенью эффективности использовать в сельском хозяйстве, при этом готовая продукция должна отвечать современным требованиям по показателям качества и безопасности.

Исследования являются логическим продолжением ряда работ авторов и соответствуют программе исследований по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ, номер государственной регистрации 121030300149-0».

Литература

1. Антонова О. И., Калпокас В. В. Удобрительная, токсикологическая и ветеринарно-санитарная характеристика органического модифицированного удобрения на основе куриного помёта // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (188). С. 58–63.
2. Теучеж А. А. Применение птичьего помёта в качестве органического удобрения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 128. С. 914–931.
3. Попов В. Н., Корнеева О. С., Искусных О. Ю., Искусных А. Ю. Инновационные способы переработки биоотходов птицеводства // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 194–200.
4. Лысенко В. П., Титов О. Н. Переработка помёта в фермерских птицеводческих хозяйствах // Птицеводство. 2014. № 7. С. 48–52.
5. Slocombe S. P., Benemann J. R. Microalgal production for biomass and high-value products // Boca Raton, FL.: CRC Press/Taylor & Francis Group. 2016. 334 p.
6. Dobrojan S. Obținerea substanțelor biologice active din biomasa microalgei *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl crescută pe ape reziduale / Mediul Ambient. 2010. № 2 (50). P. 24–28.
7. Tan H. L., Lam M. K., Cheng W. Yo., Lim W. J., Tan I. S., Foo H., Show P. Heterotrophic and mixotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* using chicken waste compost as nutrients source for lipid production // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 721(1). P. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/721/1/012011.
8. Iyovo G. D., Guocheng D., Chen J. Poultry manure digestate enhancement of *Chlorella vulgaris* biomass under mixotrophic condition for biofuel production // Journal of Microbial and Biochemical Technology. 2010. Vol. 2 (2). P. 051-057. DOI:10.4172/1948-5948.1000023.
9. Engin I. K., Cekmecelioglu D., Yücel A. M., Oktem H. A. Evaluation of heterotrophic and mixotrophic cultivation of novel *Micractinium* sp. ME05 on vinasse and its scale up for biodiesel production // Bioresource Technology. 2018. Vol. 251. P. 128–134. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.12.023.
10. Вильданова Г. И., Минахметова И. И., Порхун М. Ю., Чумак В. А., Черноусова О.В., Гайсина Л.А. Использование суспензии водоросли *Chlorella Vulgaris* при выращивании огурца посевного методом гидропонии // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2020. № S1 (54). С. 20–24.
11. Stifeev A. I., Bessonova E. A., Lukyanov V. A. Microalgae as innovative object in organic agriculture // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2013. Т. 43. № 4. С. 26–27.
12. Alvarez A. L., Weyers S. L., Goemann H., Peyton B. M., Gardner R. D. Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture // Algal Research. 2021. Vol. 54(5). P. 102200. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102200.
13. Петраков Е. С., Лукьянов В. А., Наумов М. М., Овчарова А. М., Софронова В. Г., Полякова М. Л., Петракова Н. С. Применение добавки на основе микроводорослей *Chlorella vulgaris* в кормлении цыплят-бройлеров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. №1. С. 96–104.
14. Садомов Н. А. энергия роста цыплят-бройлеров при использовании кормовой добавки «Альгавет» на основе микроводоросли *Chlorella vulgaris* // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2017. № 20 (1). С. 316–326.
15. Сычёва М. В., Торшков А. А., Зобиков А. Е., Немцева Н. В. Физиолого-биохимический статус цыплят-бройлеров при введении в рацион *Chlorella Vulgaris* Beijer. IPPASC-2014/1 // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 219–222.
16. Nur M. M. A., Buma A. G. J. Opportunities and challenges of microalgal cultivation on wastewater, with special focus on palm oil mill effluent and the production of high value compounds // Waste and Biomass Valorization. 2019. Vol. 10 (8). P. 2079–2097. DOI: 10.1007/s12649-018-0256-3.
17. Kamarudin K. F., Yaakob Z., Takriff M. S., Tasirin S. M. Bioremediation of palm oil mill effluents (POME) using *Scenedesmus dimorphus* and *Chlorella vulgaris* // Advanced Science Letters. 2013. Vol. 19(10). P. 2914-2918. DOI: 10.1166/asl.2013.5044.
18. Lowrey J., Brooks M. S., McGinn P. J. Heterotrophic and mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production in agricultural wastewaters and associated challenges - a critical review // Journal of Applied Phychology. 2015. Vol. 27. P. 1485–1498. DOI: 10.1007/s10811-014-0459-3.
19. Тренкеншу Р. П., Лелеков А. С., Новикова Т. М. Линейный рост морских микроводорослей в культуре // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3. № 1. С. 53–60. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.1.06.
20. Muñoz R., Guieysse B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review // Water Res. 2006. Vol.40. P. 2799–2815. DOI: 10.1016/j.watres.2006.06.011.
21. Ji X., Li H., Zhang J., Saiyin H., Zheng Z. The collaborative effect of *Chlorella vulgaris*-*Bacillus licheniformis* consortia on the treatment of municipal water // Journal of Hazardous Materials. 2019. Vol. 365. P. 483–493. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.11.039.

References

1. Antonova O. I., Kalpokas V. V. Fertilizing, toxicological and veterinary-sanitary characteristics of organic modified fertilizer based on chicken manure // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020. No. 6 (188). P. 58–63.
2. Teuchezh A. A. Poultry manure and its use as an organic fertilizer // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2017. No. 128. P. 914–931.
3. Popov V. N., Korneeva O. S., Iskusnykh O. Yu., Iskusnykh A. Yu. Innovative ways to process poultry waste // Proceedings of VSUET. 2020. Vol. 82. No. 1. P. 194–200.
4. Lysenko V. P., Ageichkin A.P., Titov O. N. Processing of manure at small-scale poultry farms // Ptitsevodstvo. 2014. No. 7. P. 48–52.
5. Slocombe S. P., Benemann J. R. Microalgal production for biomass and high-value products // Boca Raton, FL.: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2016. 334 p.
6. Dobrojan S. Obținerea substanțelor biologice active din biomasa microalgei *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl crescută pe ape reziduale / Mediul Ambient. 2010. No. 2 (50). P. 24–28.
7. Tan H. L., Lam M. K., Cheng W. Yo., Lim W. J., Tan I. S., Foo H., Show P. Heterotrophic and mixotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* using chicken waste compost as nutrients source for lipid production // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 721(1). P. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/721/1/012011.
8. Iyovo G. D., Guocheng D., Chen J. Poultry manure digestate enhancement of *Chlorella vulgaris* biomass under mixotrophic condition for biofuel production // Journal of Microbial and Biochemical Technology. 2010. Vol. 2 (2). P. 051–057. DOI:10.4172/1948-5948.1000023.
9. Engin I. K., Cekmecelioglu D., Yücel A. M., Oktem H. A. Evaluation of heterotrophic and mixotrophic cultivation of novel *Micractinium* sp. ME05 on vinasse and its scale up for biodiesel production // Bioresource Technology. 2018. Vol. 251. P. 128–134. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.12.023.
10. Vildanova G. I., Minakhmetova I. I., Porkhun M. Yu., Chumak V. A., Chernousova O. V., Gaisina L. A. The use of a suspension of *Chlorella vulgaris* algae in the cultivation of cucumber by hydroponics // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. M. Akmully. 2020. No. S1 (54). P. 20–24.
11. Stifeev A. I., Bessonova E. A., Lukyanov V. A. Microalgae as innovative object in organic agriculture // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. Vol. 43. No. 4. P. 26–27.
12. Alvarez A. L., Weyers S. L., Goemann H., Peyton B. M., Gardner R.D. Microalgae, soil and plants: a critical review of microalgae as renewable resources for agriculture // Algal Research. 2021. Vol. 54(5). P. 102200. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102200.
13. Petrakov E. S., Lukyanov V. A., Naumov M. M., Ovcharova A. N., Sofronova O.V., Polyakova L. L., Petrakova N. S. The using of microalgae *Chlorella vulgaris* for chicken-broilers feeding // Problemy biologii productivnykh zhitovnykh [Problems of Productive Animal Biology]. 2016. No. 1. P. 96–104.
14. Sadomov N. A. The growth energy of broiler chickens when using Algaevet feed additive based on *Chlorella vulgaris* microalgae // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2017. No. 20 (1). P. 316–326.
15. Sycheva M. V., Torshkov A. A., Zobikov A. E., Nemtseva N. V. Physiological and biochemical status of broiler chickens fed diets supplemented with *Chlorella vulgaris* Beijer. IPPASC-2014/1 // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 3 (77). P. 219–222.
16. Nur M. M. A., Buma A. G. J. Opportunities and challenges of microalgal cultivation on wastewater, with special focus on palm oil mill effluent and the production of high value compounds // Waste and Biomass Valorization. 2019. Vol. 10 (8). P. 2079–2097. DOI: 10.1007/s12649-018-0256-3.
17. Kamarudin K. F., Yaakob Z., Takriff M. S., Tasirin S. M. Bioremediation of palm oil mill effluents (POME) using *Scenedesmus dimorphus* and *Chlorella vulgaris* // Advanced Science Letters. 2013. Vol. 19(10). P. 2914–2918. DOI: 10.1166/asl.2013.5044.
18. Lowrey J., Brooks M. S., McGinn P. J. Heterotrophic and mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production in agricultural wastewaters and associated challenges - a critical review // Journal of Applied Phychology. 2015. Vol. 27. P. 1485–1498. DOI: 10.1007/s10811-014-0459-3.
19. Trenkenshu R. P., Lelekov A. S., Novikova T. M. Linear growth of marine microalgae culture // Marine Biological Journal. 2018. Vol. 3. No. 1. P. 53–60. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.1.06.
20. Muñoz R., Guieysse B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review // Water Res. 2006. Vol.40. P. 2799–2815. DOI: 10.1016/j.watres.2006.06.011.
21. Ji X., Li H., Zhang J., Saiyin H., Zheng Z. The collaborative effect of *Chlorella vulgaris*-*Bacillus licheniformis* consortia on the treatment of municipal water // Journal of Hazardous Materials. 2019. Vol. 365. P. 483–493. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.11.039.

UDC 581.1:57.032:57.033

Lukyanov V. A., Gorbunova S. Yu.

PRODUCTIVITY OF MICROALGAE *CHLORELLA SOROKINIANA* WHEN GROWING ON CHICKEN MANURE UNDER DIFFERENT LIGHTING CONDITIONS

Summary. *The production of microalgae biomass on agricultural waste has a high potential, which is associated both with solving a number of environmental problems and also with obtaining a commercial effect. The purpose of the research is to determine the production characteristics of Chlorella sorokiniana microalgae when grown under different light conditions on a nutrient medium prepared on the basis of chicken manure. The research was carried out in the laboratories of the Federal Agricultural Kursk Research Center in 2020–2021. The object of the study is a culture of microalgae Chlorella sorokiniana (IPPAS C-1). Chicken manure in terms of dry weight contained 3.82 % of total nitrogen, 1.93 % – phosphorus, 55.26 % – organic matter. The toxic elements were within acceptable limits. A distinctive feature of the method of preparing a nutrient medium based on manure was its use without preliminary fermentation at a dose of 7 g/l. Photobioreactors with a volume of 5 liters of closed type with constant artificial lighting and 20 liters of open type with natural lighting were used for work. The culture layer for all variants of the experiment was 0.15 m. Artificial lighting was represented by HPS 150 W and energy-saving LED Aquael 10 W lamps. Illumination under artificial lighting was 20 and 40 klx, under natural lighting – 36 and 70 klx. When comparing different lighting sources, it was found that the use of a nutrient medium based on chicken manure made it possible to obtain a culture of Chlorella sorokiniana with a cell density from 38.67 to 62.66 million ml⁻¹ under LED lighting, from 43.67 to 76.67 million ml⁻¹ under HPS lighting and from 17.33 to 41.33 million ml⁻¹ under natural lighting. Considering the three types of lighting, it should be noted that the most optimal way of Chlorella sorokiniana cultivation is on chicken manure under natural and LED lighting. Variants with a HPS lighting system were more energy-intensive even though they had a higher cell density.*

Keywords: *chlorella, microalgae, productivity, illumination, HPS, LED, chicken manure, agricultural waste disposal, organic fertilizers.*

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

Горбунова Светлана Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела Биотехнологий и фиторесурсов ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»; 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2; e-mail: svetlana8423@mail.ru.

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

Gorbunova Svetlana Yurievna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, Department of Biotechnologies and Phytoresources, FRC “Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS”; 2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russia; e-mail: svetlana_8423@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.08.2021.

Дата принятия к печати – 30.09.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-119-128

УДК 633.11:631.52

Некрасов Е. И., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Романюкина И. В., Кирилин А. В.,
Кравченко Н. С.

УРОЖАЙНОСТЬ И БЕЛКОВО-КЛЕЙКОВИННЫЙ КОМПЛЕКС СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»

Реферат. Для агропромышленного комплекса одну из первоочередных задач представляет увеличение урожайности и повышение показателей качества зерна пшеницы. Цель исследований – оценить урожайность и показатели качества зерна сортов озимой мягкой пшеницы и выделить наиболее ценные для дальнейшего использования в селекционных программах. Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ «АНЦ «Донской»» в 2018–2020 гг. Среднегодовое количество осадков зоны проведения исследований составило 582,4 мм, среднегодовая температура – 9,7 °С. Объект исследований – 23 сорта озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа селекции АНЦ «Донской». Стандарт – сорт Дон 107. Предшественник – кукуруза на зерно. Посев проводили в оптимальные сроки на глубину заделки семян 4–6 см, повторность шестикратная, площадь делянки – 10 м². Сорта Лилит (6,8 т/га), Полина (6,8 т/га), Золотой Колос (6,8 т/га), Лидия (6,9 т/га), Премьера (6,9 т/га), Вольница (7,0 т/га), Вольный Дон (7,0 т/га), Аюта (7,2 т/га) превысили стандартный сорт Дон 107 на 0,4–0,8 т/га. Все изучаемые в опыте образцы соответствовали нормативам первого класса по натурной массе зерна (не менее 750 г/л) и стекловидности (не менее 60,0 %). Выявлено, что наиболее крупное зерно сформировали сорта Жаворонок (43,4 г), Донской сюрприз (43,6 г), Аюта (44,6 г), Вольница (44,9 г), Премьера (48,2 г). Выделены сорта (Лидия, Станичная, Подарок Крыму), сформировавшие наибольшее количество белка в зерне (13,1–13,4 %). Сорта Аскет и Подарок Крыму сформировали наибольшее количество клейковины в зерне (28,6 % и 28,9 % соответственно). Результаты двухфакторного дисперсионного анализа доказывают влияние фактора «год» на урожайность (64,0 %), содержание белка (72,0 %) и клейковины (70,0 %) в зерне озимой мягкой пшеницы в большей степени, чем влияние фактора «генотип» и их взаимодействия.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), урожайность, содержание белка, содержание клейковины, масса 1000 зерен, натура, стекловидность.

Для цитирования: Некрасов Е. И., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Романюкина И. В., Кирилин А. В., Кравченко Н. С. Урожайность и белково-клейковинный комплекс сортов озимой мягкой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 119–128. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-119-128.

For citation: Nekrasov E. I., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Romanyukina I. V., Kirin A. V., Kravchenko N. S. Productivity and protein-gluten complex of different varieties of winter bread wheat // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 119–128. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-119-128.

Введение

Озимая пшеница является основной культурой как в мире, так и в России. В Ростовской области ее посевами занято 2,2–2,5 млн га, что во многом определяет экономическую политику региона [1–3].

В РФ менее 1 % от общего объема производства пшеницы отводится I и II классу качества, хотя самое большое количество генетических ресурсов, которые

позволяют во всех регионах получать зерно высокого качества, находится именно в нашей стране. К III–IV классам относится наибольшее количество продовольственного зерна озимой пшеницы. Зерна, соответствующего III классу с массовой долей клейковины более 25 %, выращивают очень мало. Существует нехватка производства зерна ценной и сильной пшеницы [4].

Для агропромышленного комплекса в нашей стране одну из первостепенных задач представляет увеличение урожайности и повышение показателей качества зерна пшеницы. Однако увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур влечет за собой снижение качества зерна [5, 6].

Известно, что между урожайностью и массовой долей белка и клейковины существует отрицательная связь. Поэтому перед селекционерами стоит вопрос объединения в одном генотипе высоких параметров качества и продуктивности. Эту проблему можно решить обоснованным подбором вовлекаемых в скрещивания родительских пар [7].

Есть данные о том, что азот является основным компонентом белка. Отсюда следует, что количество азота, доступного из почвы и из внесенных удобрений, должно быть в достаточном количестве для получения высокого уровня белка и повышенных урожаев пшеницы [8].

Отечественные и зарубежные ученые отмечают, что на содержание белка в зерне пшеницы в значительной степени влияют и почвенно-климатические условия произрастания этой культуры [9, 10]. Создание новых сортов – наиболее оптимальный подход в решении вопроса качества зерна.

Цель исследований – оценить урожайность и показатели качества зерна сортов озимой мягкой пшеницы и выделить наиболее ценные для дальнейшего использования в селекционных программах.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2018–2020 гг. в блоке конкурсного сортоиспытания. Объектом исследований были 23 сорта озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве стандарта использован сорт Дон 107. Предшественник – кукуруза на зерно. Посев проводили в оптимальные для зоны сроки сеялкой Wintersteiger Plotseed на глубину заделки семян 4–6 см, повторность шестикратная, площадь делянки – 10 м². Уборку осуществляли комбайном Wintersteiger Classik.

Математическую и статистическую обработку данных (дисперсионный анализ) выполняли по методике Б. А. Доспехова [12].

Оценку качества зерна озимой пшеницы провели по следующим показателям: содержание белка в зерне – по ГОСТ 10846-91; содержание клейковины в зерне – ГОСТ 54478-2011; масса 1000 зерен – ГОСТ 10842-89; натурная масса – ГОСТ 10840-2017; общая стекловидность – ГОСТ 9353-2016.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый, мощный, с высокой карбонатностью – от 2,5 до 4,0 % CaCO₃ в пахотном слое мощного горизонта (до 140 см). Содержание гумуса – 3,6–4,0 %; подвижного фосфора – 20–23 мг/кг; обменного калия – 300–380 мг/кг почвы (по ГОСТ 26205-91). Зона проведения исследования характеризуется неустойчивым увлажнением с преобладанием засушливых лет. Среднегодовое количество осадков – 582,4 мм, среднегодовая температура – 9,7 °С.

Годы проведения исследований характеризовались повышенным температурным режимом в весенне-летний период и неравномерным распределением осадков в течение года. Среднегодовая температура воздуха в 2017/2018 сельскохозяйственном году составила 11,8 °С, что превышало среднегодовые

данные на 2,1 °С, количество осадков составило 453,6 мм, что на 128,8 мм ниже среднегодовалой нормы.

В 2018/2019 сельскохозяйственном году среднегодовая температура воздуха не превышала 11,5 °С (+ 1,8 °С к среднегодовой), среднегодовое количество осадков было ниже среднегодовых показателей на 66,6 мм.

В 2019/2020 сельскохозяйственном году температура воздуха составила 11,3 °С (+1,6° С к среднегодовой), количество осадков (463,7 мм) было ниже среднегодовой нормы на 118,7 мм.

Результаты и их обсуждение

За годы исследований средняя урожайность сортов озимой мягкой пшеницы варьировала от 6,0 т/га (Аскет) до 7,2 т/га (Аюта), при величине этого показателя у стандартного сорта Дон 107 6,4 т/га. Только один сорт Аскет сформировал продуктивность, достоверно ниже показателей ($НСР_{05} = 0,3$ т/га) (рисунок 1). На уровне стандарта сформировали урожайность 14 изученных сортов. Превысили стандарт по этому признаку восемь образцов: Лилит (6,8 т/га), Полина (6,8 т/га), Золотой Колос (6,8 т/га), Лидия (6,9 т/га), Премьера (6,9 т/га), Вольница (7,0 т/га), Вольный Дон (7,0 т/га), Аюта (7,2 т/га).



Рисунок 1 – Распределение сортов озимой мягкой пшеницы по урожайности (2018–2020 гг.)

Для того, чтобы определить вклад факторов (А – генотип; В – год исследования; А×В – их взаимодействие) на урожайность зерна сортов озимой мягкой пшеницы мы провели двухфакторный дисперсионный анализ.

Значения $F_{факт.}$ факторов «генотип», «год» и их взаимодействия превышают значения $F_{табл.}$, это позволяет считать полученные данные в опыте достоверными.

Выявлено, что наибольший вклад в изменчивость урожайности обеспечивал фактор «год» – 64,0 %, в то время как фактор «генотип» в общей вариативности признака повлиял на 13,0 %. Взаимодействие указанных факторов оказывало меньшее влияние на изменчивость урожайности и составило 10,0 % (таблица 1).

Известно, что высота растений может повлиять на урожайность, так как высокорослые сорта склонны к полеганию. В наших исследованиях наблюдали варьирование этого признака от 79,0 см (Краса Дона) до 97,0 см (Дон 93) при показателе 85,0 см у стандартного сорта Дон 107.

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа сортов озимой мягкой пшеницы по урожайности (2018–2020 гг.) и доля влияния факторов в проявление признака

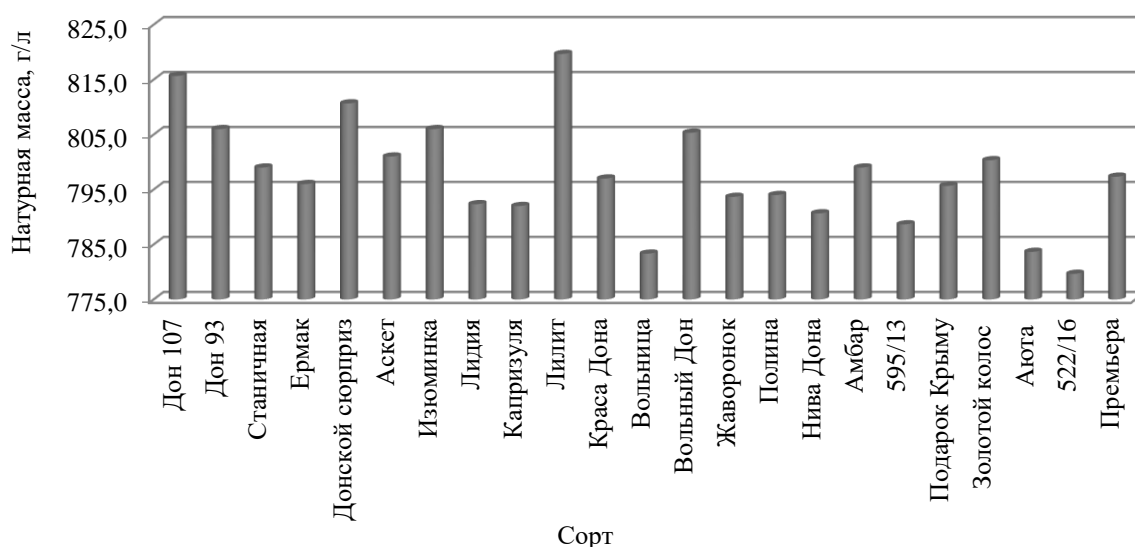
Источник вариации	Сумма квадратов	Степень свободы	Дисперсия	F _{факт}	F _{таб.05}	Доля влияния, %
Фактор А (генотип)	18,6	22	0,8	21,6	1,7	13,0
Фактор В (год)	101,3	2	50,6	129,2	3,2	64,0
Взаимодействие А×В	12,3	44	0,2	7,1	1,6	10,0
Случайное (ошибки)	-	-	-	-	-	13,0

В ходе проведения корреляционного анализа между урожайностью и высотой растений была получена достоверная слабая отрицательная взаимосвязь ($r = -0,20$, $p < 0,05$). Самую высокую урожайность (6,9; 7,0 и 7,2 т/га) сформировали сорта с высотой растений 82,7 см, 85 см и 76,7 см соответственно.

Мы исследовали мукомольные свойства зерна, характеризующиеся такими физическими показателями как натурная масса, общая стекловидность и масса 1000 зерен.

В среднем натурная масса находилась в пределах 779,7 г/л (522/16) – 819,7 г/л (Лилит) (рисунок 2).

Все образцы в опыте по изучаемому показателю соответствовали нормативам I класса для сильных пшениц (не менее 750 г/л). Наибольшей натурной массой отличались сорта Донской сюрприз, Дон 107 и Лилит (810,7–819,7 г/л).

**Рисунок 2 – Распределение сортов озимой мягкой пшеницы по натурной массе (2018–2020 гг.)**

Примечание. $НСП_{05} = 10,3$ г/л.

Корреляционная взаимосвязь между урожайностью и натурной массой у сортов озимой мягкой пшеницы была слабой положительной ($r = 0,20$, $p < 0,05$).

Общая стекловидность зерна у изучаемых сортов в среднем за три года находилась в пределах от 60 % (Капризуля) до 73 % (Изюминка) (рисунок 3).

Все сорта в опыте сформировали стекловидность зерна в пределах нормативов I класса (не менее 60 %). Были выделены образцы, характеризующиеся самыми высокими значениями данного показателя (68–73 %) – Лилит, Краса Дона, Золотой колос, Полина, Изюминка.

Корреляционный анализ показал слабую положительную зависимость между урожайностью и общей стекловидностью зерна сортов озимой мягкой пшеницы ($r = 0,20$, $p < 0,05$).

Масса 1000 зерен варьировала от 38,2 г (595/13) до 48,2 г (Премьера), у стандартного сорта Дон 107 она составила 42,1 г (рисунок 4)

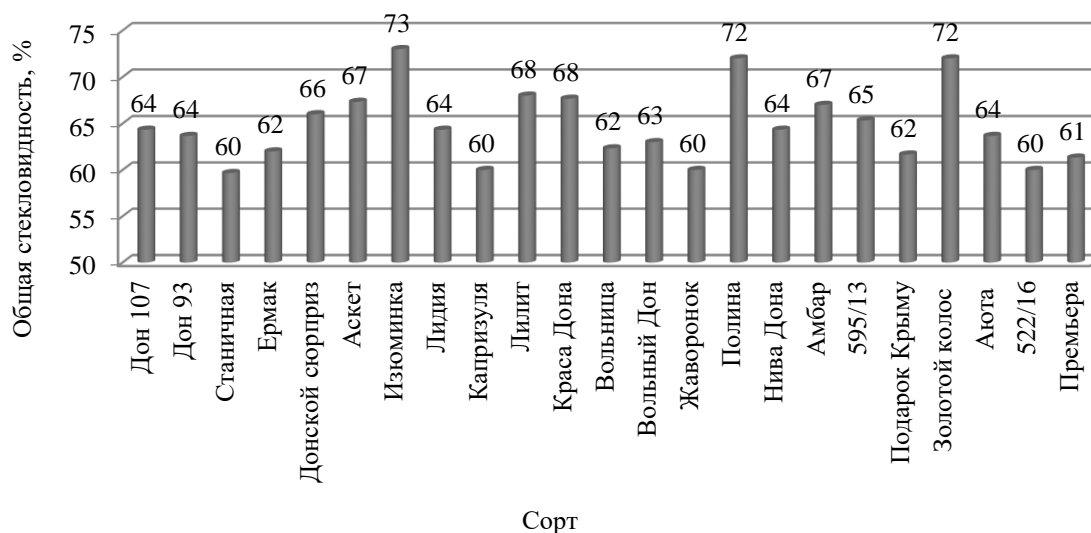


Рисунок 3 – Распределение сортов озимой мягкой пшеницы по общей стекловидности (2018–2020 гг.)

Примечание. $HCP_{05} = 6,8$ з.

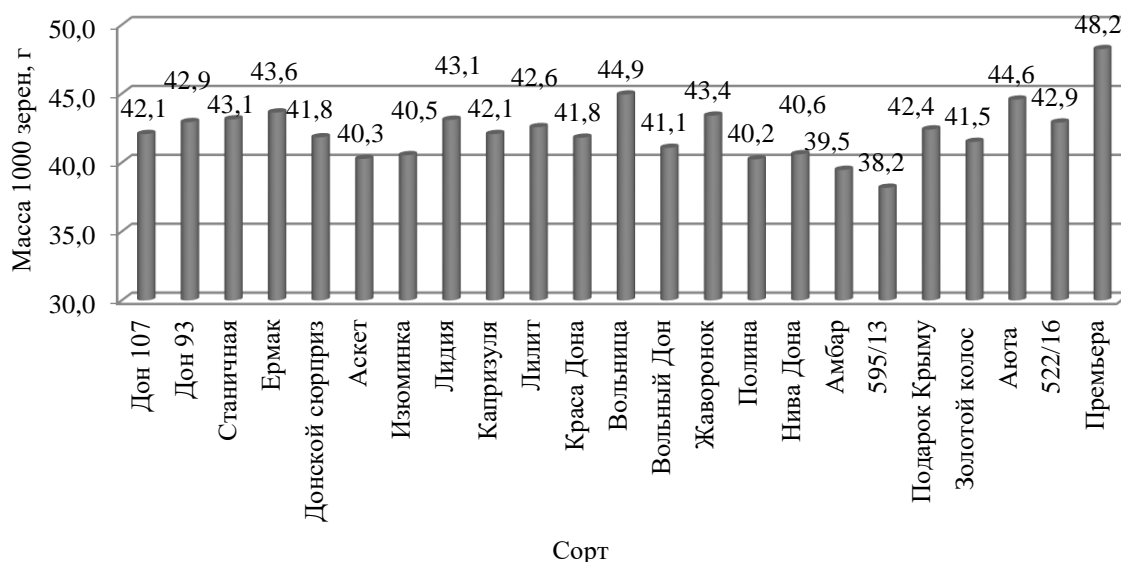


Рисунок 4 – Распределение сортов озимой мягкой пшеницы по массе 1000 зерен (2018–2020 гг.)

Примечание. $HCP_{05} = 1,6$ з.

Наиболее крупное зерно сформировалось у сортов Жаворонок (43,4 г), Донской сюрприз (43,6 г), Аюта (44,6 г), Вольница (44,9 г) и Премьера (48,2 г). Корреляционный анализ показал среднюю положительную зависимость между урожайностью и данным признаком ($r = 0,35$, $p < 0,05$). Содержание белка в зерне у

изучаемых сортов, в среднем за годы исследований находилось в пределах от 12,1 % (Капризуля) до 13,4 % (Подарок Крыму и 522/16) (рисунок 5).

Все сорта соответствовали требованиям, предъявляемым ГОСТ для III класса качества (не менее 12,0 %). Выделены сорта, сформировавшие наибольшее количество белка в зерне (13,1–13,4 %) – Лидия, Станичная, Подарок Крыму и линия 522/16.

По результатам корреляционного анализа выявлена средняя отрицательная зависимость между урожайностью и содержанием белка в зерне сортов озимой мягкой пшеницы ($r = -0,36$, $p < 0,05$).

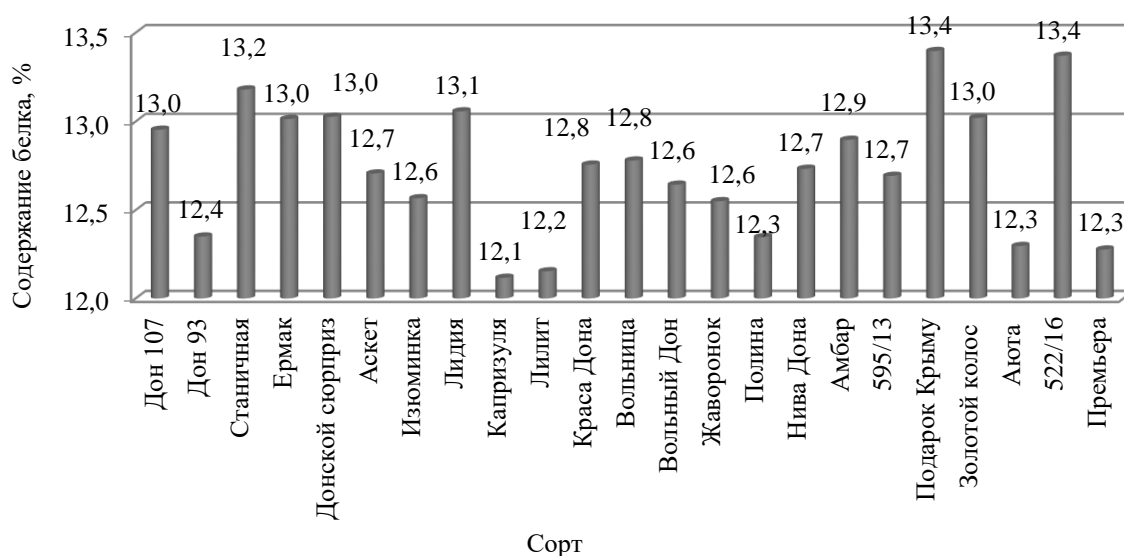


Рисунок 5 – Распределение сортов озимой мягкой пшеницы по содержанию белка в зерне (2018–2020 гг.)

Примечание. $HCP_{05} = 1,0 \%$.

При исследовании содержания белка в зерне установлено превышение значений $F_{факт}$ над $F_{табл}$ факторов «генотип», «год» и их взаимодействия, что позволяет считать полученные значения в опыте достоверными.

Значительное влияние (72,0 %) в вариативность данного показателя вносили условия года проведения исследований. Установлено, что воздействие фактора «генотип» было несколько ниже – 8,0 %. Вклад изменчивости, вызванной взаимодействием указанных факторов, составил 11,3 % (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты дисперсионного анализа сортов озимой мягкой пшеницы по содержанию белка в зерне

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия	$F_{факт}$	$F_{таб095}$	Влияние, %
Фактор А (генотип)	17,7	22	0,8	37,4	1,7	8,0
Фактор В (год)	179,1	2	89,5	4162,6	3,1	72,0
Взаимодействие А × В	28,7	44	0,6	30,3	1,6	11,3
Случайное (ошибки)	-	-	-	-	-	8,7

В среднем за три года изучения варьирование содержания клейковины в зерне сортов озимой мягкой пшеницы находилось в пределах от 23,6 % (Дон 93 и Нива Дона) до 28,9 % (Подарок Крыму) (рисунок 6).

Установлено, что III классу качества (не менее 23,0 %) соответствовали практически все образцы, кроме сортов Аскет и Подарок Крыму, относившихся ко II классу качества и накопивших наибольшее количество клейковины в зерне (28,6 % и 28,9 % соответственно).

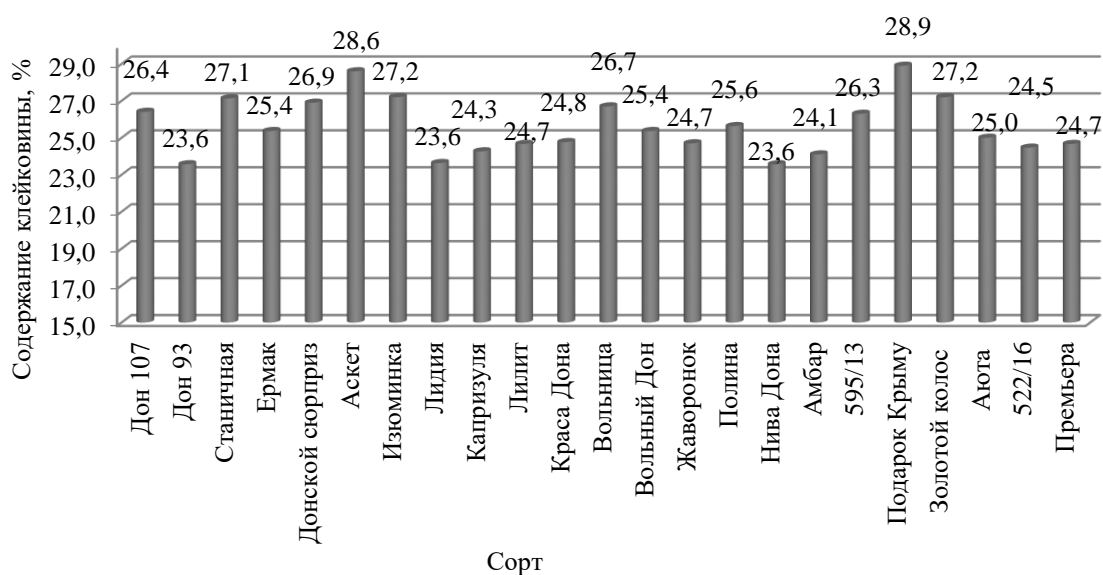


Рисунок 6 – Распределение сортов озимой мягкой пшеницы по содержанию клейковины в зерне (2018–2020 гг.)

Примечание. НСР₀₅ = 1,8 %

При проведении корреляционного анализа выявлена средняя отрицательная сопряженность урожайности и содержания клейковины в зерне образцов озимой мягкой пшеницы ($r = -0,40$, $p < 0,05$).

По содержанию клейковины в зерне был проведен дисперсионный анализ данных, результаты которого показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты дисперсионного анализа сортов озимой мягкой пшеницы по содержанию клейковины в зерне

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия	F _{факт}	F _{табл. 095}	Влияние, %
Фактор А (генотип)	315,3	22	14,3	593,8	1,8	16,5
Фактор В (год)	1323,2	2	661,6	27412,4	3,1	70,0
Взаимодействие А × В	248,3	44	5,6	233,8	1,6	13,5

Вариансы, характеризующие изменчивость, вызванную реакцией генотипа и обусловленную метеорологическими условиями (год), а также взаимодействие этих факторов являются достоверными, поскольку $F_{факт} > F_{табл.}$

Основной вклад в изменчивость рассматриваемого признака (70,0 %) вносили условия во время вегетации (год). При этом изменчивость, вызванная сортовой реакцией, оценивалась в 16,5 %. Взаимодействие этих двух факторов повлияло на изменчивость содержания клейковины в зерне на 13,5 %.

Выводы

В результате исследований установлено, что наибольшую урожайность (6,8–7,2 т/га) сформировали сорта Золотой колос, Премьера, Лидия, Вольный Дон, Аюта, превысив стандартный сорт Дон 107 по данному показателю на 0,4–0,8 т/га.

Все изучаемые в опыте образцы соответствовали нормативам первого класса по натурной массе зерна (не менее 750 г/л) и стекловидности (не менее 60,0 %).

Выявлено, что наиболее крупное зерно сформировалось у сортов Жаворонок (43,4 г), Донской сюрприз (43,6 г), Аюта (44,6 г), Вольница (44,9 г), Премьера (48,2 г).

Выделены сорта, сформировавшие наибольшее количество белка в зерне (13,1–13,4 %), такие как: Лидия, Станичная, Подарок Крыму.

Сорта Аскет и Подарок Крыму, сформировали наибольшее количество клейковины в зерне (28,6 % и 28,9 % соответственно).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа доказывают влияние фактора «год» на урожайность (64,0 %), содержание белка (72,0 %) и клейковины (70,0 %) в зерне озимой мягкой пшеницы в большей степени, чем влияние фактора «генотип» и их взаимодействия.

Литература

1. Марченко Д. М., Скрипка О. В., Самофалова Н. Е., Самофалов А. П., Иличкина Н. П., Гричаникова Т. А., Подгорный С. В., Рыбась И. А., Романюкина И. В., Дубинина О. А., Некрасов Е. И., Некрасова О. А., Иванисов М. М., Дерова Т. Г., Ионова Е. В., Кравченко Н. С., Попов А. С. Сорта озимой мягкой и твердой пшеницы: каталог. Ростов-на-Дону: ИП Андриющенко И.Е., 2018. 56 с.
2. Костылев П. И., Некрасова О. А. Изучение типов наследования ряда признаков мягкой озимой пшеницы и ее комбинационной способности // Зерновое хозяйство России. 2015. № (6). С. 16–28.
3. Поротников И. В., Антонова О. Ю., Митрофанова О. П. Молекулярные маркеры в генетическом анализе скрещиваемости мягкой пшеницы с рожью // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(6). С. 557–567. DOI: 10.18699/VJ20.649.
4. Алабушев А. В., Гуреева А. В., Раева С. А. Состояние и направления развития зерновой отрасли. Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2009. С. 192.
5. Демина И. Ф. Результаты изучения коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой в условиях Среднего Поволжья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(6). С. 653–659. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.653-659.
6. Косенко С. В. Результаты изучения коллекционного материала озимой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(22). С. 66–72. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-66-72.
7. Хлесткина Е. К., Журавлева Е. В., Пшеничникова Т. А., Усенко Н. И., Морозова Е. В. Осипова С. В., Пермякова М. Д., Афонников Д. А., Отмахова Ю. С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2017. Том 52. № 3. С. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.501rus.
8. Завалин А. А., Соколов О. А. Азот и качество зерна пшеницы // Плодородие. 2018. №1. С. 14–17. DOI: 10/25680/S19948603.2018.100.03.
9. Егушова Е. А., Кондратенко Е. П. Изменчивость хозяйственно-ценных признаков озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 9. С. 19–24.
10. Najasa L., Scherfb K., Toroka K., Bugyia Z., Schalla E., Pomsc R., Koehlerb P., Tomoskozi S. Variation in protein composition among wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to identify cultivars suitable as reference material for wheat gluten analysis // Food Chemistry. 2018. Vol. 267. P. 387–394. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.005.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

References

1. Marchenko D. M., Skripka O. V., Samofalova N. E., Samofalov A. P., Ilichkina N. P., Grichanikova T. A., Podgorny S. V., Rybas I. A., Romanyukina I. V., Dubinina O. A., Nekrasov E. I., Nekrasova O. A., Ivanisov M. M., Derova T. G., Ionova E. V., Kravchenko N. S., Popov A. S. Winter bread and durum wheat varieties: catalog. Rostov-on-Don: "Individual Entrepreneur Andriyushchenko I.E." Publ., 2018. 56 p.

2. Kostylev P. I., Nekrasova O. A. Study of types of inheritance of several traits of soft winter wheat and its combining ability // Grain Economy of Russia. 2015. No. (6). P. 16–28.
3. Porotnikov I.V., Antonova O.Yu., Mitrofanova O.P. Molecular markers in the genetic analysis of crossability of bread wheat with rye // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. No. 24 (6). P. 557–567. DOI: 10.18699/VJ20.649.
4. Alabushev A.V., Gureeva A.V., Raeva S.A. Condition and development directions of the grain industry. Rostov-on-Don: “Kniga ZAO” (Close Joint-stock Company). 2009. P. 192.
5. Demina I.F. The results of study of collection samples of spring soft wheat in the Middle Volga Region // Agricultural Science Euro-North-East. 2020. No. 21 (6). P. 653–659. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.653-659.
6. Kosenko S.V. Results of studying collection material of winter soft wheat under conditions of forest-steppe of the Middle Volga Region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2 (22). P. 66–72. DOI:10.33952/2542-0720-2020-2-22-66-72.
7. Khlestkina E. K., Zhuravleva E. V., Pshenichnikova T. A., Usenko N. I., Morozova E. V., Osipova S. V., Permyakova M. D., Afonnikov D. A., Otmakhova Yu. S. Modern opportunities for improving quality of bakery products via realizing the bread wheat genetic potential-by-environment interactions (review) // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2017. Vol. 52. No. 3. P. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.501rus.
8. Zavalin A. A., Sokolov O. A. Nitrogen and quality of wheat grain // Plodorodie. 2018. No. 1. P. 14–17.
9. Egushova E. A., Kondratenko E. P. Variation of economically valuable characters of winter wheat in forest-steppe conditions of West Siberia // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012. No. 9. P. 19–24.
10. Hajasa L., Scherfb K., Toroka K., Bugyia Z., Schalla E., Pomsc R., Koehlerb R., Tomoskozi S. Variation in protein composition among wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to identify cultivars suitable as reference material for wheat gluten analysis // Food Chemistry. 2018. Vol. 267. P. 387–394. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.005.
11. Dospekhov B.A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

UDC 633.11:631.52

Nekrasov E. I., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Romanyukina I. V.,
Kirin A. V., Kravchenko N. S.

PRODUCTIVITY AND PROTEIN-GLUTEN COMPLEX OF DIFFERENT VARIETIES OF WINTER BREAD WHEAT

Summary. *Wheat yield increase and grain quality indicators improvement is one of the primary tasks for the agro-industrial complex. The purpose of the current study was twofold: estimate the productivity and grain quality indicators of winter bread wheat varieties; identify the most valuable ones for further use in breeding programs. The surveys were carried out on the experimental field of SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»” in 2018-2020. In the study area, the average annual precipitation was 582.4 mm, the average annual temperature – 9.7 °C. The object of the study – 23 winter bread wheat varieties of semi-intensive type developed in the ARC “Donskoy”. Variety ‘Don 107’ was used as a standard one. Forecrop – maize for grain. Winter wheat was planted at the optimum planting dates; seed placement depth – 4-6 cm. The experiment was replicated six times; The plot area – 10 m². Varieties ‘Lilit’ (6.8 t/ha), ‘Polina’ (6.8 t/ha), ‘Zolotoy Kolos’ (6.8 t/ha), ‘Lidiya’ (6.9 t/ha), ‘Premyera’ (6.9 t/ha), ‘Volnitsa’ (7.0 t/ha), ‘Volny Don’ (7.0 t/ha), ‘Ayuta’ (7.2 t/ha) exceeded standard variety ‘Don 107’ by 0.4–0.8 t/ha. All varieties studied in the trial corresponded to the standards of the 1st class in terms of hectolitre weight (not less than 750 g/l) and vitreousness (not less than 60.0 %). The largest grain was formed by varieties ‘Zhavoronok’ (43.4 g), ‘Donskoy surpriz’ (43.6 g), ‘Ayuta’ (44.6 g), ‘Volnitsa’ (44.9 g), ‘Premyera’ (48.2 g). The largest values of protein in grain (13.1–13.4 %) were identified in varieties ‘Lidiya’, ‘Stanichnaya’ and ‘Podarok Krymu’. Varieties ‘Asket’ and ‘Podarok Krymu’ produced grain with the largest gluten content (28.6 % and 28.9 %, respectively). The results of two-way analysis of variance have proved the greater influence*

of the factor “year” on productivity (64.0 %), protein (72.0 %) and gluten (70.0 %) content in grain of winter bread wheat than that of the factor “genotype” and their correlation.

Keywords: *winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.), productivity, protein content, gluten content, 1000-grain weight, hectolitre weight, vitreousness.*

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

Марченко Дмитрий Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок 3; e-mail: wiza101@mail.ru.

Иванисов Михаил Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок 3; e-mail: ivanisov561991@yandex.ru.

Романюкина Ирина Васильевна, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Кириин Александр Валерьевич, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3; e-mail: sasha.kirin2015@yandex.ru.

Кравченко Нина Станиславовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок 3; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Nekrasov Evgeniy Igorevich, junior researcher of the Laboratory of breeding and seed production of half-intensive winter soft wheat, SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»”; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: 89585748977@yandex.ru.

Marchenko Dmitry Mikhailovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of breeding and seed production of half-intensive winter soft wheat, SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»”; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: wiza101@mail.ru.

Ivanisov Mikhail Mikhaylovich, Cand. Sc. (Agr.), researcher of the Laboratory of breeding and seed production of half-intensive winter soft wheat, SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»”; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: ivanisov561991@yandex.ru.

Romanyukina Irina Vasilievna, research technician, SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»”; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, 347740, Russia; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Kirin Aleksandr Valerievich, agronomist of the Laboratory of breeding and seed production of half-intensive winter soft wheat, SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»”; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: sasha.kirin2015@yandex.ru.

Kravchenko Nina Stanislavovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of biochemical assessment of breeding material and grain quality, SSE “Agricultural Research Center «Donskoy»”; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: vniizk30@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 12.08.2021.

Дата принятия к печати – 05.10.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-129-137

УДК 633:57.045

Осипова Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А.

СОРТОСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЯЧМЕНЯ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ В КРИТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ РОСТА

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»

Реферат. В современных технологиях выращивания зерновых культур важная роль отводится выбору сорта с высоким адаптивным потенциалом и разработке способов повышения устойчивости растений к действию различных стрессов. Целью исследований стало выявление специфических особенностей различных сортов ячменя в критические периоды роста. Исследования проводили в 2020–2021 гг. Объектами исследований служили семь сортов ярового ячменя селекции Московского НИИСХ. Проводили серии лабораторных и вегетационных экспериментов, в которых изучали показатели физиологического статуса и сортовую специфику устойчивости ярового ячменя к оксидативному стрессу, индуцированному осмотически активным раствором сахарозы в период деэтиоляции (лабораторные опыты) и вызванному почвенной засухой на VI этапе органогенеза (вегетационный опыт, сорта Владимир и Раушан). Проводили оценку биометрических показателей проростков и показателей водного статуса. Установлены различия между сортами в критические периоды роста. Во всех опытах сорта реагировали на стрессовое воздействие возрастом содержанием маркера окислительного стресса малонового диальдегида (МДА). Слабая устойчивость вегетативных органов отмечена у: 1) корней – Раушан (3,8 при стрессе против 0,92 мкМ/г сырой массы при оптимальных условиях), Московский 2 (8,1 против 2,0 мкМ/г сырой массы), Эльф (4,5 против 1,38 мкМ/г сырой массы); 2) ростков – Раушан (4,6 при стрессе против 1,54 мкМ/г сырой массы при оптимальных условиях), Эльф (5,0 против 1,37 мкМ/г сырой массы), Нур (6,0 против 2,4 мкМ/г сырой массы). Самыми устойчивыми к стрессу были сорта Московский 86 и Владимир, так как в меньшей степени возросло накопление МДА по сравнению с его базовым содержанием (Московский 86 – ростки: 5,5 против 2,8; корни: 3,0 против 2,2 мкМ/г сырой массы; Владимир – ростки: 3,4 против 2,9; корни: 3,9 против 3,2 мкМ/г сырой массы), также снижалось содержание хлорофиллов а, b и каротиноидов на 5,1; 5,9; 6,7 % соответственно, и 8,0; 17,4; 6,9 % по отношению к контрольным вариантам. Таким образом, сорт Владимир обладает большей устойчивостью к стрессу по сравнению с остальными сортами.

Ключевые слова: сорта ярового ячменя, деэтиоляция, оксидативный стресс, почвенная засуха, малоновый диальдегид, фотосинтетические пигменты.

Для цитирования: Осипова Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А. Сортоспецифические особенности ячменя в разных условиях выращивания в критические периоды роста // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 129–137. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-129-137.

For citation: Osipova L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A. Variety-specific features of barley at different stages of ontogenesis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 129–137. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-129-137.

Введение

В условиях современных климатических рисков и погодных аномалий возрастает роль сорта в повышении реальной урожайности зерновых культур. Только сорта, сочетающие высокий потенциал продуктивности с устойчивостью к

неблагоприятным факторам среды, обладающие экологической пластичностью, могут обеспечить стабильные сборы зерна [1–3].

В онтогенезе яровых злаков существуют критические периоды роста, в которые растения наиболее уязвимы к абиотическим стрессорам, а нарушения в развитии приводят к необратимым повреждениям структур и функций растительного организма и снижению продуктивности. Первым критическим этапом является сложный период перестройки метаболизма и изменения морфологии растений при переходе от этиолированного роста (скотоморфогенез) к росту на свету (фотоморфогенез) [4–6]. Особенно чувствительны растения к стрессам во второй критический период онтогенеза, когда растения переходят к закладке цветковых зачатков на конусе нарастания побега, развитию генеративных органов, формированию соцветия и цветка. Действие стрессоров приводит к необратимым последствиям: недоразвитию проводящих путей, ограничивающим поступление ассимилятов к верхним колоскам, увеличению редукции заложившихся цветков и сокращению количества будущих зерен.

Изучение физиолого-биохимических механизмов реализации адаптивного потенциала генотипов ячменя актуально, так как направлено на научно обоснованный выбор сорта для современных технологий возделывания ярового ячменя и разработку способов повышения его устойчивости к различным стрессорам.

Цель исследований – оценить сортовую специфику растений ячменя в оптимальных и стрессовых условиях выращивания в критические периоды роста.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2020–2021 гг. Объектом исследований служили сорта ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) селекции Московского НИИСХ, включенные в Госреестр селекционных достижений в разные годы: Московский 2 (1984), Эльф (1997), Раушан (1998), Нур (2002), Владимир (2007), Московский 86 (2011), Надежный (2017). Все сорта среднеспелые с высоким потенциалом урожайности [7].

Лабораторные эксперименты проводили в рулонной культуре в климатическом термостате при поддержании постоянной температуры и влажности воздуха. Контрольные варианты проращивали на воде, опытные варианты – первые трое суток на воде, затем четверо суток на растворах сахарозы 3,8 атм., имитирующих почвенную засуху. На седьмые сутки все варианты переносили на световую площадку и определяли показатели физиологического статуса.

Вегетационные опыты проводили в 2020–2021 гг. в почвенной культуре на сортах Владимир и Раушан на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующей агрохимической характеристикой: гумус (по Тюрину) – 1,54 %; рНКС1 5,08; Нг – 3,07; S – 1,8; Т – 14,87 мг-экв. на 100 г., V – 79 %, P₂O₅ – 89 мг/кг, K₂O – 49 мг/кг. Опыты закладывали по методике Журбицкого [8]. Питательные вещества вносили из расчета NPK (150 мг/кг). Почву известковали по полной норме гидролитической кислотности. Во второй критический период индуцировали засуху прекращением полива на шестом этапе органогенеза. Полив возобновляли через трое суток после наступления влажности устойчивого завядания растений. Во всех экспериментах определяли интенсивность процессов свободнорадикального окисления, которое оценивали по содержанию продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – малонового диальдегида (МДА) на спектрофотометре Helios Omega UV-VIS. Активность синтеза фотосинтетических пигментов: хлорофиллов а, b и каротиноидов определяли в 100% ацетоновой вытяжке [9].

В вегетационных опытах определяли также показатели водного статуса (оводненность и водоудерживающую способность) [10]. Измерения проводили в трех биологических и аналитических повторностях. Результаты обработаны

математически. На рисунках приведены среднеарифметические данные, стандартные отклонения которых не превышают 5 % от средних значений.

Результаты и их обсуждение

На первых этапах органогенеза растения находятся в состоянии этиолированного проростка с гетеротрофным питанием и специфическими физиолого-биохимическими особенностями метаболизма и габитуса. Стратегия растения в этот период направлена на быстрый рост, так как продолжительное нахождение в темноте приводит к необратимой этиоляции и гибели проростка из-за израсходования элементов питания зерновки [11]. Чем раньше росток выйдет на свет, тем быстрее проросток перейдет к автотрофному питанию, формированию габитуса и морфогенезу. Развитие корневой системы в этот период отражает особенности роста и развития взрослого растения, определяет в дальнейшем поглотительную способность растения и доступность почвенной влаги. Взаимоотношение между корнем и ростком генетически обусловлено и определяется особенностями гормонального статуса. В контроле сорта различались по соотношению длины корней и ростков. У сортов Владимир (росток – 11,6, корень – 9,7 см), Московский 86 (росток – 11, корень – 9 см), Нур (росток – 13, корень – 13,8 см) и Надежный (росток – 12, корень – 11 см) линейные вегетативных органов были практически одинаковы. У сортов Эльф, Раушан, Московский 2 длина корня превышала длину ростка, соответственно на 31, 64 и 38 %. Различия между сортами связаны, очевидно, с интенсивностью синтеза гибберелловой кислоты, ключевым регулятором роста, влияющим на деление и удлинение клеток [12].

При появлении проростка на свет развивается морфофизиологический процесс дэтиоляции, продолжающийся до формирования первых фотосинтетически активных листьев. Фотоморфогенез начинается с подавления вытягивания побега, перестройки экспрессии генома и метаболизма растения.

Сорта ячменя в этот период различались по интенсивности редокс-процессов, связанных с генерацией активных форм радикалов. Благодаря неразвитой ассимиляционной поверхности происходит перевозбуждение антенных комплексов фотосистемы, образуются излишки световой энергии, что приводит к активации образования свободных радикалов и развитию оксидативного стресса. В современной концепции окислительно-восстановительных процессов в биологических системах указано, что свободные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью, образуются в биохимических реакциях и спонтанно, и целенаправленно, и являются обязательным соединением в нормальном метаболизме, а их недостаток, как и активная генерация, вызывают нарушения в метаболизме растения [13].

В оптимальных условиях культивирования наиболее активно свободнорадикальные процессы происходили у сортов Владимир и Нур. Наименьшее накопление малонового диальдегида, продукта перекисидации липидов, наблюдали у сортов Эльф и Раушан (рисунок 1).

Сортовая специфика проявлялась в отношении редокс-процессов в ростках и корнях ячменя. У сорта Нур окислительные процессы более выражены в корнях. Наоборот, у сортов Московский 86 и Раушан интенсивность генерации свободных радикалов была ниже в корнях, чем в ростках на 19,7 и 40,2 % соответственно. У сортов Владимир и Эльф генерация активных свободных радикалов была близкой в обоих органах – ростках и корнях (см. рисунок 1).

В нормальных условиях выращивания уровень продуктов ПОЛ контролируется антиоксидантной системой защиты. Возможно, базовая устойчивость сортов, оцениваемая по генерации свободных радикалов, обусловлена различной интенсивностью образования антиоксидантных соединений.

В свете последних исследований роли свободных радикалов в метаболизме растительного организма, как источника сигналинга, вызывающего защитные реакции, базовое содержание продуктов ПОЛ можно рассматривать как показатель интенсивности физиолого-биохимических процессов. При стрессовом воздействии и генерации избыточных количеств свободных радикалов МДА рассматривается как маркер оксидативного стресса.

Осмотический стресс тормозил рост проростка, что связано по мнению [14] с уменьшением синтеза эндогенных гиббереллинов. Депрессия роста была выражена у этиолированного ростка и составляла 65,4–72,4 % от контроля. Ингибирование ростовой функции корневой системы было слабее и варьировало в интервале 47,2–63,1 % от контрольных вариантов различных сортов. Наименьшая депрессия роста отмечена у сорта Московский 86 – 64,8 и 54,6 % соответственно у ростка и корней, наибольшая – у сорта Московский 2 – 72,4 и 63,1 %.

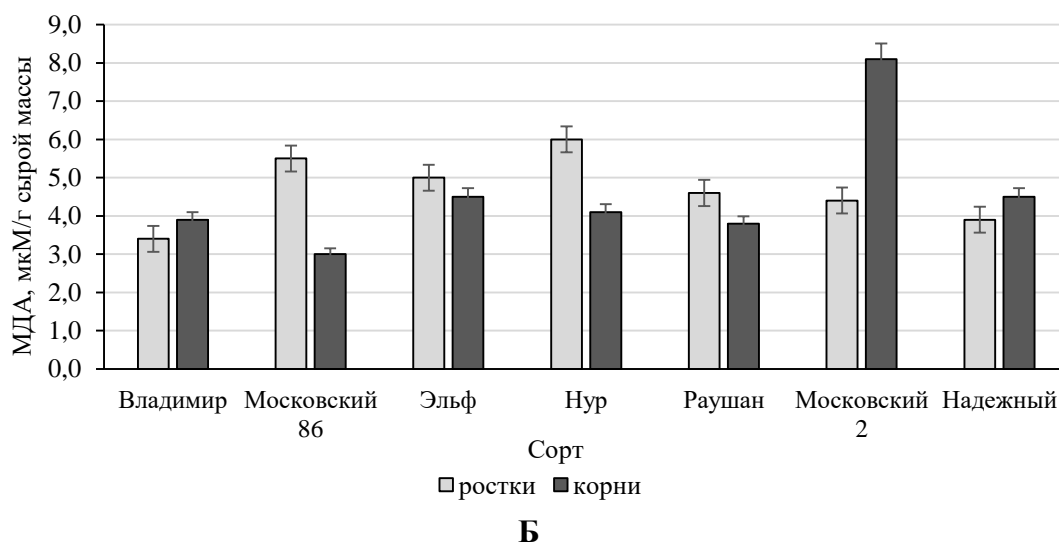
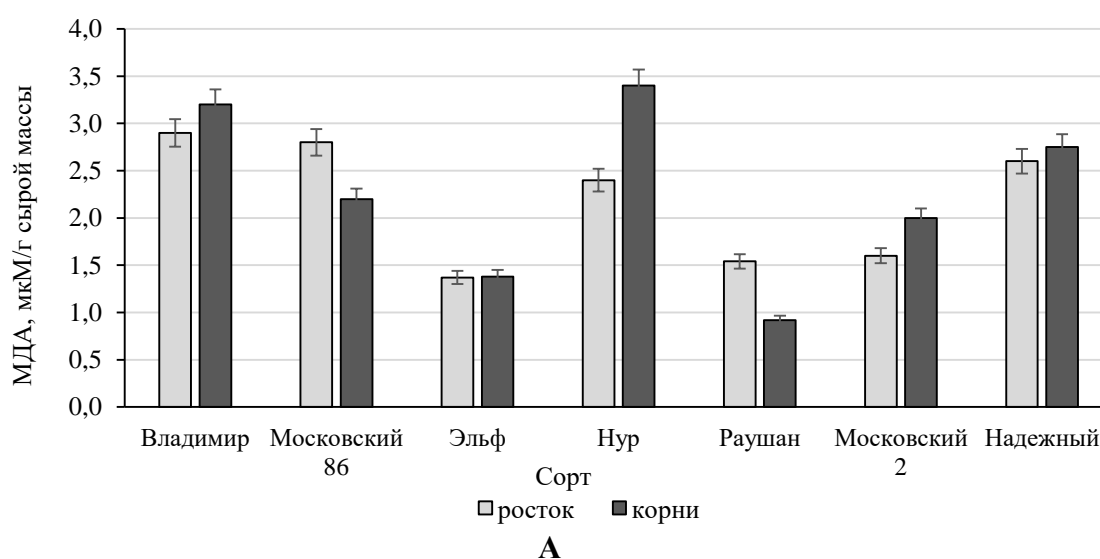


Рисунок 1 – Содержание МДА в ростках и корнях сортов ячменя в оптимальных условиях выращивания и в условиях оксидативного стресса (2020–2021 гг.)

Примечание. А – оптимальные условия; Б – осмотический стресс.

Оксидативный стресс способствовал усилению генерации свободных радикалов и повышению содержания продуктов перекисного окисления липидов. Все

сорта ячменя прореагировали на стрессовое воздействие возрастанием содержания маркера окислительного стресса малонового диальдегида (рисунок 1). Сорты различались реакцией ростков и корней на стрессор. Слабая устойчивость корней отмечена у сортов Раушан, Московский 2, Эльф; ростков: у Раушан, Эльф, Нур. Наиболее устойчивыми к стрессу оказались сорта Московский 86 и Владимир, у которых в меньшей степени возросло накопление МДА по сравнению с его базовым содержанием (см. рисунок 1).

Вместе с изменением редокс-статуса проростков окислительный стресс задерживал синтез хлорофилла а – основного пигмента, участвующего в поглощении и преобразовании световой энергии квантов света в энергию химических связей. Наблюдали также торможение образования хлорофилла b и каротиноидов, которые вместе со светособирающей функцией участвуют в фотозащите формирующихся структур фотосинтетического аппарата, препятствуя образованию свободных радикалов, повреждающих молекулы хлорофилла и липиды тилакоидных мембран хлоропластов.

Сорта ячменя различались по степени торможения синтеза пигментов (рисунок 2). Наиболее устойчивыми к стрессору оказались сорта Владимир и Московский 86, у которых содержание хлорофиллов а, b и каротиноидов снижалось на 5,1; 5,9; 6,7% и 8,0; 17,4; 6,9 % соответственно по отношению к контрольным вариантам без стрессовой нагрузки.

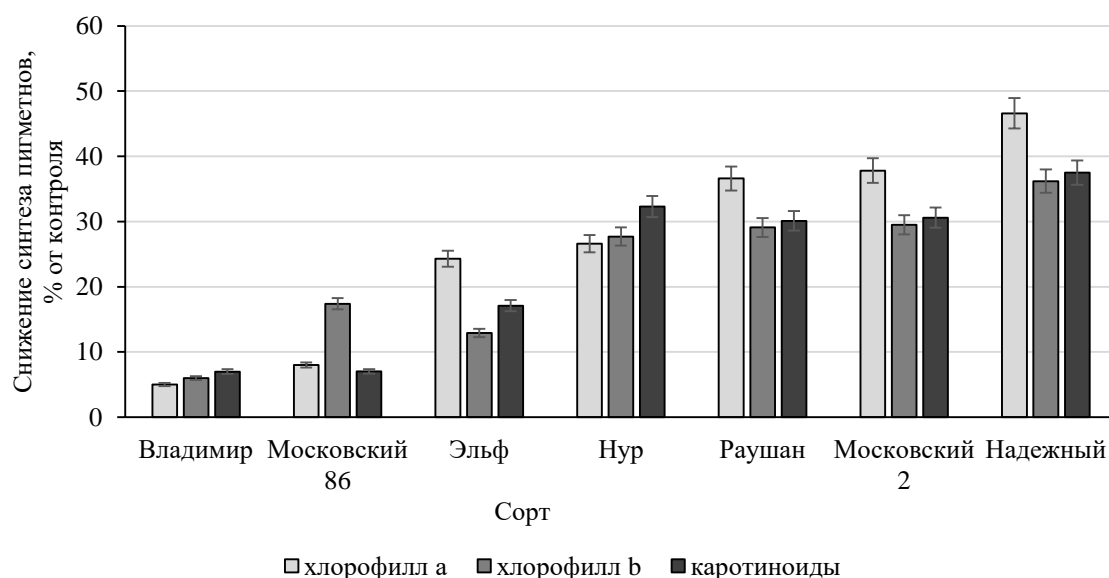


Рисунок 2 – Влияние окислительного стресса на торможение синтеза фотосинтетических пигментов в ростках сортов ячменя (2020–2021 гг.)

В вегетационных опытах оценка сортов Владимир и Раушан во второй критический период закладки и формирования генеративной сферы выявила различия по показателям водного статуса, уровню свободнорадикального окисления и содержанию пигментов. У обоих сортов нарастающая почвенная засуха приводила к снижению оводненности листьев верхнего яруса и возрастанию водоудерживающей способности, которую рассматривают как показатель сложившегося в растениях водного баланса (рисунок 3).

При действии почвенной засухи водоудерживающая способность листьев у сорта Владимир возрастала с увеличением водного дефицита, что способствовало поддержанию оводненности. У сорта Раушан способность регулировать потери воды

увеличивалась до наступления влажности устойчивого завядания растений, далее наблюдалось ее снижение, что свидетельствует о меньшей устойчивости этого сорта.

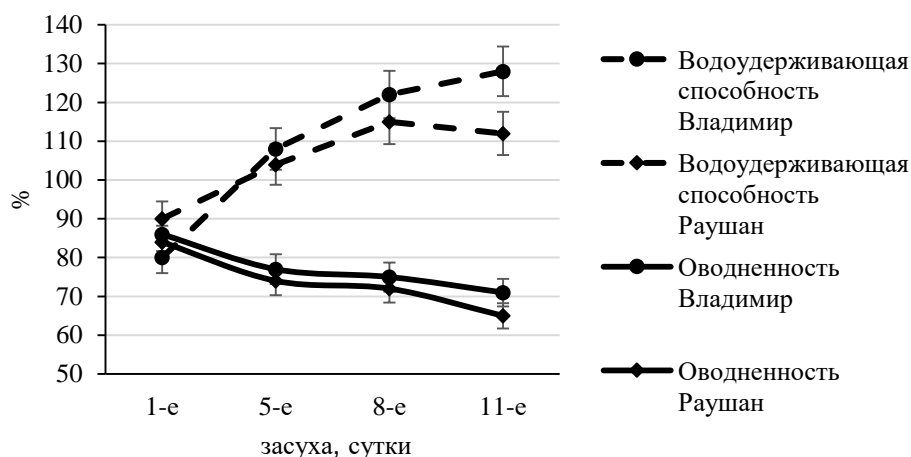
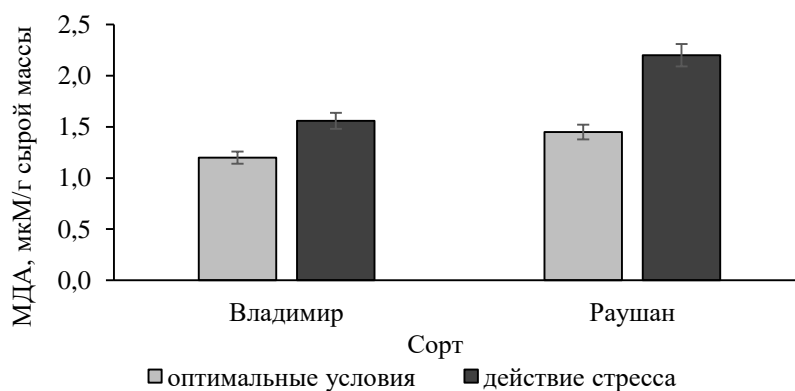
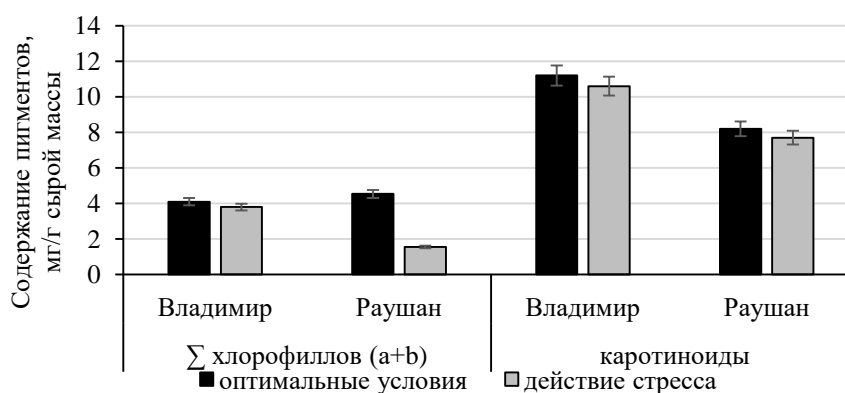


Рисунок 3 – Оводненность и водоудерживающая способность листьев у сортов ячменя в период засухи (2020–2021 гг.)

Почвенная засуха вызывала развитие оксидативного стресса из-за усилившейся генерации свободных радикалов, о чем свидетельствовало накопление малонового диальдегида. Содержание МДА в большей степени возрастало у сорта Раушан – на 140 % против 120 % у сорта Владимир (рисунок 4).



А



Б

Рисунок 4 – Влияние почвенной засухи на содержание МДА (А) и пигментов фотосинтеза (Б) у сортов ячменя (2020–2021 гг.)

При действии стресса изменялся синтез фотосинтетических пигментов. У сорта Раушан тормозилось образование и хлорофиллов, и каротиноидов. У сорта Владимир снижалось содержание каротиноидов, но увеличивалось количество хлорофиллов за счет возрастания хлорофилла *b*, предохраняющего в стрессовых условиях фотосинтетический аппарат от повреждения.

При незначительных различиях массы зерна у сортов в контроле 0,92 и 0,89 соответственно у сортов Владимир и Раушан, депрессия продуктивности была больше у сорта Раушан, что подтверждает его меньший адаптивный потенциал в критический период онтогенеза.

Выводы

Таким образом, сортовая специфика изучаемых сортов проявлялась в интенсивности редокс-процессов, происходящих в ростках и корнях независимо от условий выращивания. В оптимальных условиях наиболее активно свободнорадикальные процессы происходили у сортов Владимир (ростки – 2,9; корни – 3,2 мкМ/г сырой массы) и Нур (ростки – 2,4; корни – 3,4 мкМ/г сырой массы), в меньшей степени – у сортов Эльф (ростки – 1,37; корни – 1,38 мкМ/г сырой массы) и Раушан (ростки – 1,54; корни – 0,92 мкМ/г сырой массы).

В условиях осмотического стресса ингибирование ростовой функции ростков было выражено сильнее, чем корней. Наименьшая депрессия роста в этих условиях была у сорта Московский 86, наибольшая – у сорта Московский 2.

Независимо от сорта стресс вызывал увеличение содержания МДА и снижение синтеза хлорофилловых пигментов. Сортовая специфика была выражена в различной реакции ростков и корней на стресс. Сорта Московский 86 и Владимир оказались более устойчивы к воздействию оксидативного стресса, так как отличались меньшим накоплением МДА в органах (Московский 86: ростки – 5,5 против 2,8; корни – 3,0 против 2,2 мкМ/г сырой массы; Владимир: ростки – 3,4 против 2,9; корни – 3,9 против 3,2 мкМ/г сырой массы) и меньшей степенью торможения синтеза хлорофилловых пигментов (процент снижения синтеза хлорофилла *a* – 5 и 8 %; хлорофилла *b* – 6 и 17 %; каротиноидов – 7 % у сортов Московский 86 и Владимир соответственно).

Вегетационный опыт подтвердил, что сорт Владимир отличался большей устойчивостью к воздействию водного стресса в критический период роста растений ячменя (VI этап органогенеза) по сравнению с сортом Раушан за счет большего поддержания оводненности листьев (87–71 % у Владимира против 84–65 % у Раушан), меньшему накоплению МДА (120 % против 140 %), а также увеличению содержания хлорофилла *b* в этих условиях, защищая фотосинтетический аппарат от повреждений, что в итоге отразилось на меньшей потере продуктивности по сравнению с сортом Раушан (0,92 против 0,89 г).

Литература

1. Левакова О. В., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Болдырев М. А. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
2. Шуплецова О. Н., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 192–199. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199.
3. Колмыкова Т. С. Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов // Агрехимия. 2012. № 1. С. 83–94.
4. Armarega Marriott T., Sandoval-Ibanez O., Kowalewska L. Beyond the darkness: recent lessons from etiolation and de-etiolation studies // J. Exp. Bot. 2019. No. 71(4). P. 1215–1225. DOI: 10.1093/jxb/erz496.
5. Яковлев П. А. Влияние микроэлементов на азотный обмен и устойчивость тритикале и пшеницы к стрессовым факторам внешней среды. Автореф. дисс. ... к.б.н. М.: РГАУ – МСХА. 2015. 20 с.

6. Кабашникова Л. Ф., Абрамчик Л. М., Сердюченко Е. В., Капылова Л. В. Реакция проростков ячменя (*Hordeum vulgare*) при сочетанном действии гипертермии и обезвоживания // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2013. № 3. С. 60–66.
7. Ерошенко Л. М., Ерошенко А. Н., Романкин М. М., Ерошенко Н. А. Селекция инновационных сортов ярового ячменя в условиях Центрального Нечерноземного региона России // Зерновая ферма России. 2017. № 3. С. 25–28.
8. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. 266 с.
9. Осипова Л. В., Верниченко И. В., Ромодина Л. В., Курносова Т. Л., Быковская И. А. Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием // Агрехимия. 2019. № 7. С. 67–74. DOI: 10.1134/S000218811907010X.
10. Удовенко Г. В., Кожушко Н. Н. Информативность некоторых физиологических параметров в связи с устойчивостью сортов пшеницы к засухе // Сельскохозяйственная биология. 1980. Т. 15. № 3. С. 59–65.
11. Кузнецов В. В., Дорошенко А. С., Кудрякова Н. В., Данилова М. Н. Роль фитогормонов и света в процессе деэтиоляции // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 6. С. 563–577. DOI: 10.31857/S001533032006010X.
12. Kai K., Kasa S., Sakamoto M., Aoki N., Watabe G., Yuasa T., Iwaya-Inoue M., Ishibashi Y. Role of reactive oxygen species produced by NADPH oxidase in gibberellin biosynthesis during barley seed germination // Plant Signal. Behav. 2016. No. 11. Art. No. e1180492. DOI: 10.1080/15592324.2016.1180492.
13. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biol. 2015. No. 4. P. 180–183. DOI: 10.1016/j.redox.2015.01.002.
14. Llanes A., Andrade A., Alemano S., Luna V. Alteration of endogenous hormonal levels in plants under drought and salinity // Am. J. Plant Sci. 2016. Vol. 7. P. 1357–1371. DOI:10.4236/AJPS.2016.79129.

References

1. Levakova O. V., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Boldyrev M. A. Assessment of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the non-chernozem zone of the Russian Federation // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 3. P. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
2. Shupletsova O. N., Ogorodnikova S. Yu., Nazarova Ya. I. Effects of nonspecific resistance in barley genotypes obtained by cell selection // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181. No. 4. P. 192–199. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199.
3. Kolmykova T. S. Efficiency of plant growth regulators under abiotic stress // Agrohimia. 2012. No. 1. P. 83–94.
4. Armarega Marriott T., Sandoval-Ibanez O., Kowalewska L. Beyond the darkness: recent lessons from etiolation and de-etiolation studies // J. Exp. Bot. 2019. Vol. 71. P. 1215–1225. DOI: 10.1093/jxb/erz496.
5. Yakovlev P. A. Influence of trace elements on nitrogen metabolism and resistance of triticale and wheat to environmental stress factors. Author's abstract diss. ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA), 2015. 20 p.
6. Kabashnikova L. F., Abramchik L. M., Serdyuchenko E. V., Kapylova L. V. Reaction of barley sprouts (*Hordeum vulgare*) under the combined action of hyperthermia and dehydration // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series. 2013. No. 3. P. 60–66.
7. Eroshenko L. M., Eroshenko A. N. Selection of innovative varieties of spring barley in the conditions of the Central Non-Chernozem Region of Russia // Grain farm of Russia. 2017. No. 3. P. 25–28.
8. Zhurbitsky Z. I. Theory and practice of the vegetative method. Moscow: Nauka, 1968. 266 p.
9. Osipova L. V., Vernichenko I. V., Romodina L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A. Spring barley resistance to abiotic stress, depending on the level of mineral nutrition and preprocessing of seeds by selenium and silicon // Agrohimia. 2019. No. 7. P. 67–74. DOI: 10.1134/S000218811907010X.
10. Udoenko G. V., Kozhushko N. N. Informativeness of some physiological parameters in connection with the resistance of wheat varieties to drought // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural biology]. 1980. Vol. 15. No. 3. P. 59–65.
11. Kuznetsov V. V., Doroshenko A. S., Kudryakova N. V., Danilova M. N. The role of phytohormones and light in the process of de-etiolation // Fiziologiya Rastenij. 2020. Vol. 67. No. 6. P. 563–577. DOI: 10.31857/S001533032006010X.
12. Kai K., Kasa S., Sakamoto M., Aoki N., Watabe G., Yuasa T., Iwaya-Inoue M., Ishibashi Y. Role of reactive oxygen species produced by NADPH oxidase in gibberellin biosynthesis during barley seed germination // Plant Signal. Behav. 2016. Vol. 11. Art. No. e1180492. DOI: 10.1080/15592324.2016.1180492.
13. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biol. 2015. Vol. 4. P. 180–183. DOI: 10.1016/j.redox.2015.01.002.
14. Llanes A., Andrade A., Alemano S., Luna V. Alteration of endogenous hormonal levels in plants under drought and salinity // Am. J. Plant Sci. 2016. Vol. 7. P. 1357–1371. DOI:10.4236/AJPS.2016.79129.

UDC 633:57.045

Osipova L. V., Kurnosova T. L., Bykovskaya I. A.

VARIETY-SPECIFIC FEATURES OF BARLEY AT DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS

Summary. *In modern technologies of growing grain crops, high priority is given to the choice of varieties with significant adaptive potential and the development of ways to increase the resistance of plants to the action of various stresses. The purpose of our research was to identify the specific features of different varieties of barley during critical periods of growth. The studies were carried out in 2020–2021. The objects of research were varieties of spring barley created in the Moscow Research Institute of Agriculture. A series of laboratory and vegetative experiments were conducted, in the course of which we studied the indicators of the physiological status and varietal specificity of the resistance of spring barley to oxidative stress induced by an osmotically active sucrose solution during de-etiolation (laboratory experiments) and caused by soil drought at the VI stage of organogenesis (vegetative experiment, varieties ‘Vladimir’ and ‘Raushan’). The biometric indicators of sprouts and indicators of water status were evaluated. In all experiments, the varieties responded to stress by increasing the content of the oxidative stress marker malondialdehyde (MDA). Weak resistance of vegetative organs was noted in 1) roots – variety ‘Raushan’ (3.8 under stress conditions vs. 0.92 $\mu\text{M/g}$ of raw mass under optimal conditions). ‘Moskovsky 2’ (8.1 vs. 2.0), ‘Elf’ (4.5 vs. 1.38); 2) sprouts – ‘Raushan’ (4.6 vs. 1.54), ‘Elf’ (5.0 vs. 1.37), ‘Nur’ (6.0 vs. 2.4). Varieties ‘Moskovsky 86’ and ‘Vladimir’ were the most resistant to stress since the accumulation of MDA increased to a lesser extent compared to its base content (‘Moskovsky 86’ – sprouts: 5.5 vs. 2.8; roots: 3.0 vs. 2.2 $\mu\text{M/g}$ of raw mass; ‘Vladimir’ – sprouts: 3.4 vs. 2.9; roots: 3.9 vs. 3.2 $\mu\text{M/g}$). Moreover, the content of chlorophylls a, b and carotenoids in varieties ‘Moskovsky 86’ and ‘Vladimir’ decreased respectively by 5.1; 5.9; 6.7 % and 8.0; 17.4; 6.9 % compared to the control options. Thus, variety ‘Vladimir’ is more stress-resistant than the other ones.*

Keywords: *spring barley varieties, de-etiolation, oxidative stress, soil drought, malondialdehyde, photosynthetic pigments.*

Осипова Людмила Владимировна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Россия, Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: legos4@yandex.ru.

Курносова Татьяна Леонидовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Россия, Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: kurnosova_t@mail.ru.

Быковская Ирина Александровна, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: bykovskaya_irina@bk.ru.

Osipova Lyudmila Vladimirovna, Dr. Sc. (Biol.), chief researcher, D. N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127550, Russia; e-mail: legos4@yandex.ru.

Kurnosova Tatyana Leonidovna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher, D. N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127550, Russia; e-mail: kurnosova_t@mail.ru.

Bykovskaya Irina Aleksandrovna, senior researcher, D. N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127550, Russia; e-mail: bykovskaya_irina@bk.ru.

Дата поступления в редакцию – 28.09.2021.

Дата принятия к печати – 05.11.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-138-148

УДК 633. 82: 665. 52

Пехова О. А., Тимашева Л. А., Данилова И. Л., Белова И. В.

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ *HYSSOPUS OFFICINALIS* L., ВЫРАЩИВАЕМЫХ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. *Hyssopus officinalis* L. – перспективное эфиромасличное растение комплексного использования, содержащее различные виды биологически активных веществ (БАВ). Цель исследований – изучить особенности накопления различных видов БАВ в растениях *H. officinalis*, выращенных в предгорной зоне Крыма, для применения их в парфюмерно-косметической, пищевой отраслях промышленности, фармации и медицине. Исследования проводили в 2017–2019 гг. в НИИСХ Крыма. Материалом для исследований служило сырье *H. officinalis* (популяция с синими цветками), выращенное на суходоле. Качественные и количественные характеристики сырья и разных видов БАВ определяли по общепринятым методикам. Надземная часть растений в течение вегетации имела следующий фракционный состав: листья (21,4–70,6 %), стебли (18,8–30,9 %) и соцветия (22,0–59,1 %). Соотношение фракций по фазам вегетации менялось: в фазе отрастания преобладали листья – 70,6 %, в фазе окончания цветения их содержание снижалось до 21,4 %, а содержание соцветий достигало максимума в фазе массового цветения и окончания цветения – 53,3–59,1 %. Наибольшее количество эфирного масла получено из соцветий – 1,94 %, содержание которых во фракционном составе сырья достигало 53,3 %. Максимальное количество эфирного масла характерного качества накапливалось в фазе массового цветения (1,26 % в пересчете на а.с.м.). Доминантные компоненты эфирного масла – кетоны: изопинокамфон и пинокамфон (75,9–78,6 %). Высокий уровень содержания фенольных соединений отмечен в фазы отрастания и цветения; экстрактивных веществ – в фазе бутонизации; дубильных веществ – в фазе массового цветения. В процессе хранения воздушно-сухого сырья в течение двух лет происходят потери эфирного масла (до 20,2 %) и изменяется его компонентный состав (уменьшение углеводов на 2,5–22,7 % и увеличение кетонов на 3,4–16,2 %). Содержание остальных видов БАВ при хранении сырья увеличивалось на 10–30 %. Следовательно, хранить воздушно-сухое сырье иссопа лекарственного целесообразно в течение двух и более лет.

Ключевые слова: иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), эфирное масло, биологически активные вещества, изопинокамфон, пинокамфон.

Для цитирования: Пехова О. А., Тимашева Л. А., Данилова И. Л., Белова И. В. Динамика накопления биологически активных веществ в растениях *Hyssopus officinalis* L., выращиваемых в предгорной зоне Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 138–148. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-138-148.

For citation: Pekhova O. A., Timasheva L. A., Danilova I. L., Belova I. V. Dynamics of accumulation of biologically active substances in *Hyssopus officinalis* L. plants grown in the foothill zone of Crimea // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 138–148. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-138-148.

Введение

В последние годы возрос интерес к эфиромасличным растениям семейства Яснотковые и накоплен большой научный материал по содержанию и накоплению эфирных масел и других видов биологически активных веществ (БАВ). Иссоп

лекарственный (*Hyssopus officinalis* L., семейство Lamiaceae) – полукустарник, встречается в Средиземноморье, Малой, Средней и Центральной Азии, Восточной и Центральной Европе. Культивируется во многих странах Западной Европы (Венгрия, Болгария), во Франции, Италии, России (Крым, Астраханская область, Ставропольский край, Дагестан, Алтай), Украине, Индии и др.

В условиях предгорного Крыма растения достигают высоты до 80 см. Стебли многочисленные, четырехгранные, хорошо разветвленные, у основания деревянистые. Корень стержневой, деревянистый, сильно разветвленный. Листья ланцетные, цельнокрайние, сидячие, супротивные. Цветки мелкие синие, розовые или белые, собраны в колосовидное соцветие. Цветет в июле. Плод при созревании распадается на четыре трехгранных, темно-бурых, продолговато-яйцевидных орешка [1]. В цветущей надземной части растений содержатся: эфирное масло (0,6–2,0 %), флавоноиды (диосмин, иссопин, гесперидин, апигенин, кверцетин) и их гликозиды, дубильные и горькие вещества, смолы, камедь, фенольные кислоты (хлорогеновая, протокатеховая, феруловая, кофейная, ванилиновая, розмариновая, кумаровая), тритерпеновые кислоты (урсоловая и олеаноловая), аскорбиновая кислота, каротин, аминокислоты, макро- и микроэлементы [2].

Общий вид растений *H. officinalis*, произрастающих в интродукционно-селекционном питомнике эфиромасличных и лекарственных растений ФГБУН «НИИСХ Крыма», представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид *H. officinalis* в фазе начала цветения

H. officinalis является культурой комплексного использования, он хороший медонос, обладающий декоративными качествами. Сырье и продукты его переработки используют в парфюмерно-косметической, пищевой, фармацевтической, ликероводочной промышленности, кулинарии [3, 4].

В настоящее время *H. officinalis* введен в национальные фармакопеи Румынии, Португалии, Швейцарии, Франции, Швеции, Германии [5]. В РФ *H. officinalis* не является фармакопейным растением и не применяется официальной медициной, но благодаря своим целебным свойствам (противоспазматическим, дезинфицирующим, отхаркивающим, ранозаживляющим, ветрогонным, противовоспалительным, антимикробным, противоопухолевым, гепатопротекторным и иммуностимулирующим) он нашел применение в народных медицинских практиках для лечения и предупреждения различных заболеваний. В виде сухих сборов и спиртовых настоек *H. officinalis* продают в аптеках России.

Фитохимия растений иссопа лекарственного, выращиваемого в различных природно-климатических условиях России, изучена недостаточно. В Крыму изучение иссопа лекарственного проводили в различных агроклиматических районах [6–8]. Однако в предгорной зоне Крыма для растений иссопа не изучены вопросы накопления БАВ, в том числе и эфирных масел по фазам вегетации и органам растений. Отсутствуют литературные данные о влиянии условий и сроков хранения высушенного сырья данной культуры на содержание и качество различных видов БАВ.

Отмечено, что на содержание и компонентный состав эфирных масел и других видов БАВ *H. officinalis* влияют различные внешние факторы: регион выращивания, климатические условия, тип почвы, фаза онтогенеза, время заготовки сырья, способ его переработки, условия сушки и хранения [9, 10].

Одним из вопросов, стоящих при изучении эфиромасличных растений, является исследование динамики накопления различных видов БАВ в течение вегетационного периода. Литературные данные по накоплению эфирных масел в растениях подтверждают, что его содержание значительно изменяется в процессе онтогенеза. Для многих видов эфиромасличных растений различных семейств установлена видоспецифичность по показателю содержания эфирного масла [11].

Знание динамики накопления БАВ в растениях иссопа лекарственного, изменения их химического состава в процессе развития растения дает возможность установить оптимальные сроки уборки сырья с их наибольшим выходом и характерным качеством [12].

Цель исследований – изучить особенности накопления различных видов БАВ в растениях *H. officinalis*, выращенных в предгорной зоне Крыма, для комплексного применения их в парфюмерно-косметической, пищевой отраслях промышленности, фармации и медицине.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили с 2017 по 2019 гг. в отделе переработки и стандартизации эфиромасличного сырья ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». Материалом исследований служило свежесобранное и воздушно-сухое сырье *H. officinalis* (популяция ФГБУН «НИИСХ Крыма», форма с синими цветками), выращенное на суходоле в с. Крымская Роза Белогорского района. Территория относится к одному из пяти агроклиматических районов Крыма – четвертому, верхнему, предгорному, теплomu, недостаточно влажному (подрайон северный с умеренно мягкой зимой) [9]. Максимальная температура воздуха составляет 37 °С; минимальная не опускается ниже –24 °С. Годовая сумма осадков варьирует в пределах от 293 мм до 986 мм, из них 59 % ливневых. В годы исследований количество осадков в период вегетации в среднем составляло 520 мм. Гидротермический коэффициент в среднем был равен 0,90, что свидетельствует об умеренно-засушливом характере агроклиматических условий в период вегетации.

Качественные характеристики свежесобранного и воздушно-сухого сырья (содержание влаги, экстрактивных веществ, эфирного масла, общих фенольных соединений, фенолкарбоновых кислот и флавоноидов, дубильных веществ) определяли по методикам: ГОСТ 34213, ОФС 1.5.3.0006.15, ОФС 1.5.3.00.10.15, ОФС ОФС.1.5.3.0007.15, Запрометова М. Н. [14], Федосеевой Г. М. [15].

Компонентный состав эфирного масла *H. officinalis* определяли методом газовой хроматографии на приборе «Кристалл 2000М» сразу после его извлечения из сырья. Для идентификации и полного разделения основных компонентов эфирного масла были подобраны следующие условия хроматографирования: колонка капиллярная кварцевая длиной 50 м с внутренним диаметром 0,32 мм, неподвижная фаза CR-WAXms (полиэтиленгликоль в соль-гель матрице). Температуру термостата

колонки программировали в следующем режиме: от 0 до 70,0 °С продолжительностью 5 мин, далее со скоростью 1,4 °С/мин до 130,0 °С, далее со скоростью 1,0 °С/мин до 172,0 °С. Давление на входе в колонку составило 100 кПа, далее со скоростью 0,20 кПа/мин до 120,0 кПа, деление потока газа-носителя 1/60. Детектор: пламенно-ионизационный. Газ-носитель – азот: давление на входе в колонку 70 кПа, продолжительностью 6 мин, далее со скоростью 0,5 кПа в мин до 112,0 кПа. Объем пробы $0,10 \times 10^{-3} \text{ см}^3$

Идентификацию основных компонентов эфирного масла *H. officinalis* проводили путем сравнения времени удерживания пиков стандартных веществ, массовую долю которых определяли методом нормализации, основанном на расчете отношения параметра пика данного компонента к сумме параметров всех компонентов. Повторность определения содержания БАВ в сырье трехкратная. Полученные данные исследований обрабатывали статистическими методами [15] при помощи пакета программ Microsoft Office Excel, 2010.

Результаты и их обсуждение

При определении динамики накопления эфирного масла в различных органах растений *H. officinalis* по фазам вегетации был проведен структурный анализ растений, который показал, что надземная часть растений имеет следующий фракционный состав: листья (21,4–70,6 %), стебли (18,8–30,9 %) и соцветия (22,0–59,1 %). Соотношение фракций по фазам вегетации менялось – в фазе отрастания преобладали листья – 70,6 %, в фазе окончания цветения их содержание уменьшалось до 21,4 %; содержание соцветий достигало максимума в фазы массовое цветение и окончание цветения 53,3–59,1 % (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика накопления эфирного масла в различных органах растений *H. officinalis* по фазам вегетации (2017–2019 г.)

Фаза вегетации растений	Органы растений	Фракционный состав, %	Массовая доля, % m/m	
			влаги	эфирного масла на а.с.м.*
Отрастание	листья	70,6 ± 3,0	74,0 ± 0,4	0,90 ± 0,03
	стебли	29,4 ± 2,2	72,5 ± 0,4	следы
	целое	100,0 ± 0,0	73,3 ± 0,4	0,84 ± 0,02
Бутонизация	листья	47,1 ± 2,5	73,5 ± 0,5	0,99 ± 0,03
	стебли	30,9 ± 1,8	69,0 ± 0,3	0,05 ± 0,01
	соцветия	22,0 ± 1,5	71,8 ± 0,4	1,33 ± 0,06
целое		100,0 ± 0,0	70,8 ± 0,5	0,98 ± 0,03
	листья	42,8 ± 2,3	71,0 ± 0,4	1,15 ± 0,05
	стебли	28,1 ± 2,0	64,3 ± 0,3	0,11 ± 0,02
Начало цветения	соцветия	29,1 ± 2,0	72,4 ± 0,5	1,87 ± 0,08
	целое	100,0 ± 0,0	70,8 ± 0,5	1,14 ± 0,05
	листья	27,9 ± 3,0	66,5 ± 0,3	1,37 ± 0,06
Массовое цветение	стебли	18,8 ± 1,5	64,0 ± 0,2	0,22 ± 0,01
	соцветия	53,3 ± 4,6	71,8 ± 0,4	1,94 ± 0,08
	целое	100,0 ± 0,0	69,5 ± 0,3	1,26 ± 0,05
Окончание цветения	листья	21,4 ± 1,4	66,0 ± 0,3	0,74 ± 0,03
	стебли	19,5 ± 1,0	62,9 ± 0,2	0,15 ± 0,01
	соцветия	59,1 ± 4,4	71,3 ± 0,4	0,96 ± 0,06
целое	100,0 ± 0,0	69,8 ± 0,3	0,92 ± 0,05	
НСР ₀₅ (целое растение)				0,10
НСР ₀₅ (листья)				0,08
НСР ₀₅ (соцветия)				0,09

Примечание. * абсолютно сухая масса.

В условиях предгорной зоны Крыма содержание эфирного масла в течение вегетационного периода 2017–2019 гг. находилось в пределах 0,84–1,26 % на а.с.м. (см. таблицу 1). Изменение содержания эфирного масла в онтогенезе *H. officinalis* происходило следующим образом: в процессе развития растений количество эфирного масла увеличивалось, начиная с фазы отрастания (0,84 %), достигая максимума в период массового цветения (1,26 %) и снижаясь до 0,92 % в конце цветения (на 28 %).

Основными маслосинтезирующими органами *H. officinalis* являются листья и соцветия, это отмечено и другими авторами [20, 21]. В фазы бутонизации и окончания цветения отмечено содержание эфирного масла и в стеблях на уровне 0,05–0,22 % на а.с.м. Наибольшее количество эфирного масла содержалось в соцветиях (1,94 % на а.с.м.) и в листьях – на уровне 1,77 % на а.с.м.

Химический состав эфирного масла *H. officinalis* по органам растений и фазам вегетации, определенный методом ГЖХ, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав эфирного масла *H. officinalis* в различных органах растений по фазам вегетации, % (2017–2019 гг.)

Фаза вегетации растений	Органы растений	Терпеновые углеводороды (моно/сесквитерпеновые)	Монотерпеновые кетоны		
			всего	в том числе	
				пинокамфон	изопинокамфон
Отрастание	листья	5,14/7,12	41,67	8,06	33,61
	целое	4,20/6,41	44,91	15,24	29,67
Бутонизация	листья	5,11/10,12	82,37	36,43	45,94
	стебли	10,23/12,07	76,07	21,00	55,07
	соцветия	3,67/9,45	84,32	32,59	51,73
	целое	9,23/19,18	69,74	20,41	49,33
Начало цветения	листья	10,09/7,37	80,97	31,08	49,89
	стебли	10,22/12,64	73,31	13,09	60,22
	соцветия	15,78/7,00	77,03	19,92	57,11
	целое	10,80/10,09	78,56	20,20	58,36
Массовое цветение	листья	11,02/8,56	71,91	17,57	54,34
	стебли	11,21/9,57	73,09	15,04	58,05
	соцветия	12,01/12,03	75,81	14,80	61,01
	целое	11,56/11,00	75,85	16,79	59,10
Окончание цветения	листья	6,32/5,12	69,94	23,99	45,95
	стебли	8,21/9,00	70,03	20,02	50,01
	соцветия	8,62/12,22	72,40	20,36	52,04
	целое	7,92/12,04	71,75	23,31	48,44

В эфирном масле *H. officinalis* определено 58 компонентов, из них идентифицировано 25. Установлено, что химический состав эфирного масла иссопа лекарственного включает следующие основные группы веществ: монотерпеновые углеводороды – α и β -пинены, сабинен, лимонен, γ -терпинен, β -мирцен, п-цимол, камфен; сесквитерпеновые углеводороды – β -кариофиллен, гермакрен D, β -бурбонен, кадинен, аллоаромадендрен; кетоны – пинокамфон, изопинокамфон; эфиры – миртенилметилвый; высокоатомный спирт – спатуленол. Преобладающими компонентами эфирного масла *H. officinalis* являлись кетоны (изопинокамфон и пинокамфон), сумма которых достигала максимума в фазы начало цветения и массовое цветение 75,9–78,6 %, что соответствует данным других исследователей [22, 23].

Исследуемая популяция относится к изопинокамфоновому типу (содержание изопинокамфона – 29,7–58,4 %, пинокамфона – 15,2–23,3 %). Содержание изопинокамфона в эфирном масле придает ему приятный запах и обеспечивает высокую парфюмерную оценку. Согласно литературным данным, пинокамфон, изопинокамфон и β -пинен являются основными соединениями, ответственными за антибактериальные и противогрибковые свойства иссопа [23].

Отмечено, что в фазе цветения незначительно увеличивалось содержание высокоатомного спирта спатуленола до 2,7 %, обладающего фунгицидной активностью, а в фазе окончания цветения в листьях до 18,0 % возрастало содержание миртенилметилового эфира, обладающего сильным антисептическим действием [6].

Во всех остальных фазах онтогенеза содержание этих компонентов находилось на уровне 0,1 %.

Все органы растений синтезировали одинаковый набор терпеновых соединений, однако в различном количественном соотношении. Так, эфирное масло, полученное из стеблей, содержало максимальное количество изопинокамфона (55,1–60,2 %), однако, несмотря на небольшое содержание их во фракционном составе сырья, они оказали влияние на качественный состав эфирного масла из целого сырья.

Исследования химического состава эфирного масла из генеративных органов *H. officinalis* (соцветия) в сравнении с маслом из других частей растения выявило следующие отличия. Для эфирного масла из соцветий отмечен самый высокий уровень биосинтеза пинокамфона 32,6 % в фазу бутонизации и высокий уровень содержания изопинокамфона в фазы начало цветения и массовое цветение. Массовая доля остальных компонентов варьировала в тех же пределах, что и в эфирном масле из других органов.

Исходя из выше приведенных данных, оптимальным сроком уборки сырья *H. officinalis* следует считать фазу массового цветения, в которой растения иссопа синтезировали наибольшее количество эфирного масла с высокими качественными характеристиками, обусловленными регионом выращивания и погодными условиями периода вегетации растений.

Типичная хроматограмма эфирного масла *H. officinalis*, полученного в фазе массового цветения из свежесобранного сырья, выращенного в предгорной зоне Крыма, представлена на рисунке 2.

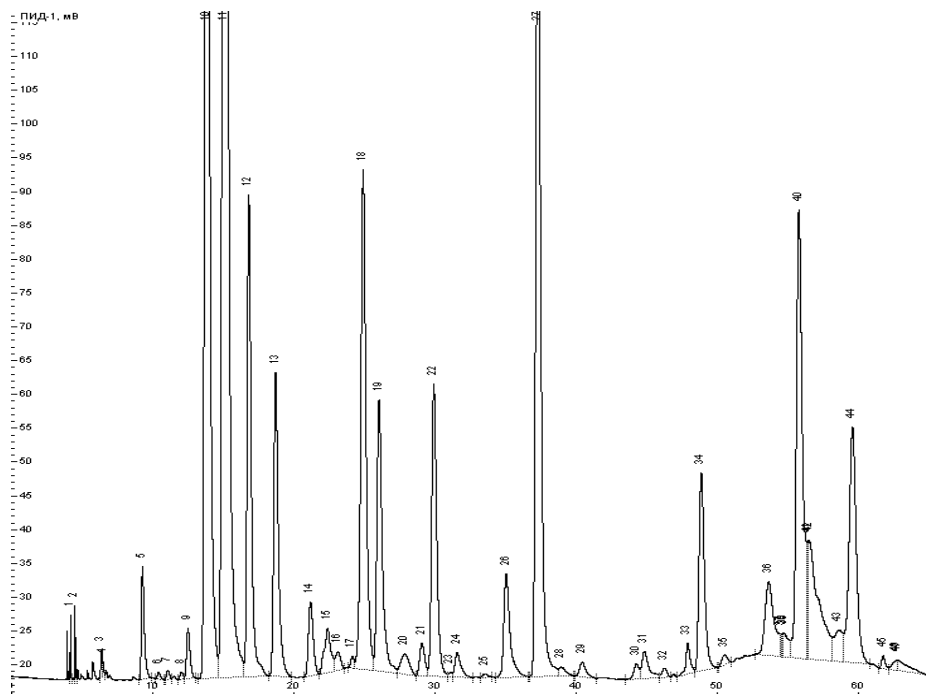


Рисунок 2 – Типичная хроматограмма эфирного масла *H. officinalis* в фазу массового цветения на полярной капиллярной колонке

Примечание. 1 – α-пинен; 2 – камфен; 3 – сабинен; 4 – β-пинен; 5 – лимонен; 6 – 1,8-цинеол; 10 – пинокамфон; 11 – изопинокамфон; 12 – миртенилметилловый эфир; 13 – спатуленол; 18 – β-кариофиллен; 19 – аллоаромадендрен; 22 – гермакрен D; 27 – γ-кадинен.

Эфирное масло *H. officinalis*, полученное способом паровой дистилляции, представляло собой легкоподвижную прозрачную жидкость светло-жёлтого цвета, с резким ароматическим запахом с камфорным оттенком. Относительная плотность эфирного масла находилась на уровне 0,925–0,960, показатель преломления – 1,4750–1,4950. Угол вращения плоскости поляризации света, градус – от минус 25 до минус 60. Кислотное число, мгКОН/г от 5,2 до 6,8. Растворимость эфирного масла в 95 % водно-спиртовом растворе от 1:4,2 до 1:5.

С целью оценки сырья в качестве лекарственного проведено определение содержания биологически активных веществ в воздушно-сухом сырье, убранном в разные фазы вегетации в 2017–2019 гг. Установлено, что количество экстрактивных веществ, извлекаемых 70 % водно-спиртовым раствором из воздушно-сухого сырья, находилось в пределах от 23,17 до 28,12 % на а.с.м. Массовая доля общих фенольных соединений в течение вегетационного периода варьировала от 5,11 до 7,68 %, в том числе сумма флавоноидов и фенолкарбоновых кислот от 4,51 до 5,72 %, дубильных веществ от 0,61 до 1,97 % (рисунок 3). Отмечено, что наибольшее количество фенольных соединений синтезировалось в период активного роста растений (фаза отрастания) и в фазе начала цветения, а экстрактивных веществ – в фазе бутонизации. Максимальное содержание дубильных веществ (1,97 %), флавоноидов и фенолкарбоновых кислот отмечено в фазе начало цветения (5,72 %).

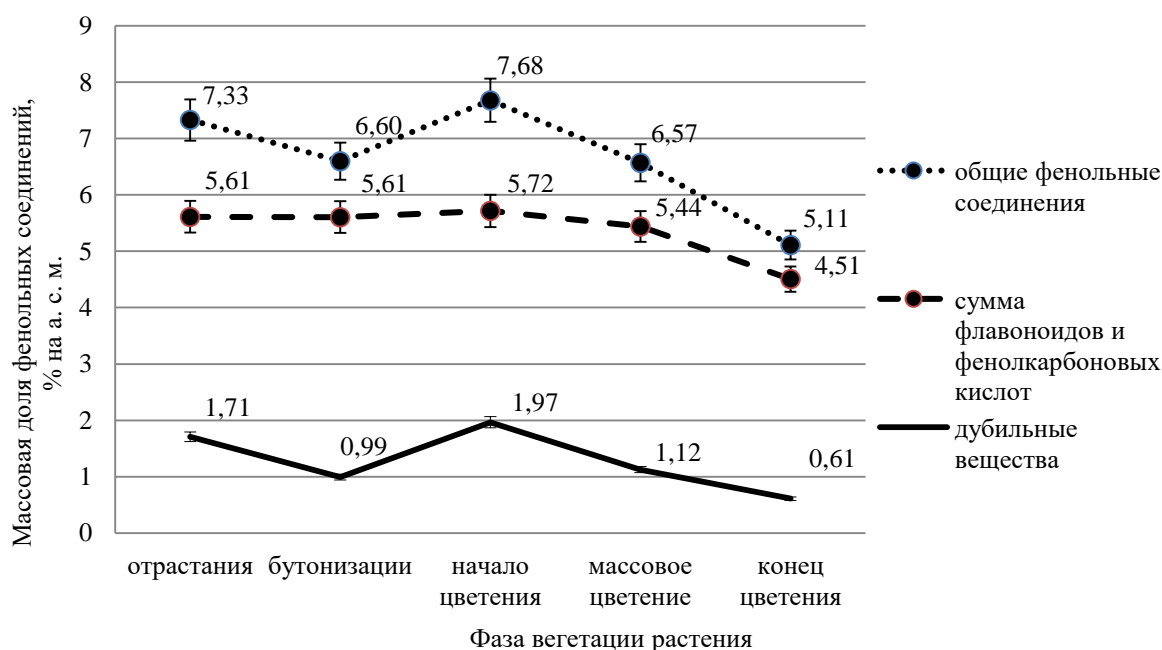


Рисунок 3 – Биохимические показатели качества воздушно-сухого сырья *H. officinalis* по фазам вегетации (среднее за 2017–2019 гг.)

Изучение продолжительности хранения воздушно сухого сырья *H. officinalis* на содержание и химический состав эфирного масла в течение двух лет показало, что за этот период произошла потеря эфирного масла от 14,0 % (сырье, убранное в фазе отрастания) до 20,2 % (сырье, убранное в фазе окончания цветения). Изменился и качественный состав эфирного масла – содержание сесквитерпеновых углеводов уменьшилось на 5,3–22,3 %, а монотерпеновых углеводов в фазы бутонизации, начала и массового цветения – соответственно на 8,2 %; 3,2 %; 2,5 %.

В эфирном масле из сырья, убранного в разные фазы вегетации, в процессе хранения увеличилось содержание кетонов – изопинокамфона на 4,2–16,2 %,

пинокамфона – на 3,4–14,7 %. В целом за два года хранения качество эфирного масла из высушенного сырья не ухудшилось. Содержание других видов БАВ в процессе хранения увеличилось на 10–30 %.

Выводы

В результате исследований определены особенности накопления биологически активных веществ в разных органах растений *H. officinalis* и в разные фазы вегетации.

Установлено, что основными маслосинтезирующими органами растений *H. officinalis* являются листья и соцветия. Наибольшее количество эфирного масла получено из соцветий иссопа (1,94 %), на которые во фракционном составе сырья приходилось 53,3 %. Максимальное количество эфирного масла характерного качества накапливалось в растениях в фазе массового цветения (1,26 % на а.с.м.). Доминантными компонентами эфирного масла являлись кетоны – изопинокамфон и пинокамфон.

Высокий уровень содержания фенольных соединений отмечен в фазы отрастания и цветения, экстрактивных веществ – в фазе бутонизации, дубильных веществ – в фазе начало цветения.

Определено, что в процессе хранения воздушно-сухого сырья иссопа лекарственного в течение двух лет происходят потери эфирного масла (до 20,2 %) и изменения его компонентного состава (уменьшение углеводов на 2,5–22,7 % и увеличение кетонов на 3,4–16,2 %). Содержание остальных видов БАВ при хранении сырья увеличивалось на 10–30 %. Следовательно, целесообразно хранить воздушно-сухое сырье иссопа лекарственного в течение двух и более лет.

Таким образом, сырье и эфирное масло *H. officinalis*, выращиваемого в предгорной зоне Крыма, обладают широким спектром биологической активности, его можно использовать в эфиромасличном и пищевом производствах, в фармации и медицине.

Литература

1. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 233–235.
2. Гребенникова О. А., Палий А. Е., Хлыпенко Л. А., Работягов В. Д. Биологически активные вещества *Hyssopus officinalis* L. // Орбиталь. 2017. №1. С. 21–28.
3. Коваленко Н. А., Ахрамович Т. Н., Супиченко Г. Н., Сачивко Т. В., Босак В. Н. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 191–199. DOI: 10.14258/jcrpm.2019014083.
4. Беспалько Л. В., Харченко В. А., Шевченко Ю. П., Ушакова И. Т. Иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.) // Овощи России. 2016. № 2. С. 60–63.
5. Мырзагалиева А. Б., Медеубаева Б. З., Сүлеймен Е. М., Ибатаев Ж. А. Исследование компонентного состава эфирного масла *Hyssopus ambiguus* L. в условиях Восточного Казахстана // Евразийское научное объединение. 2016. Т.1. № 7(19). С. 9–11.
6. Работягов В. Д., Шибко А. Н. Исследование компонентного состава эфирного масла *Hyssopus officinalis* L. // Сборник научных трудов ГНБС. 2014. Т. 139. С.94–106.
7. Дунаевская Е. В., Хлыпенко Л. А., Работягов В. Д. *Hyssopus officinalis* L. сорта Никитский Белый селекции Никитского сада // Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Алексея Ивановича Шретера «Перспективы лекарственного растениеводства». М.: ВИЛАР, 2018. С. 270–274.
8. Шибко А. Н., Аксенов Ю. В. Динамика накопления эфирного масла и изменчивость его компонентного состава в течение суток у *Hyssopus officinalis* в условиях предгорного Крыма // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2011. Вып. 4. С. 127–133.
9. Великородов А. В., Ковалев В. Б., Курбанова Ф. Х., Щепетова Е. В. Химический состав эфирного масла *Hyssopus officinalis* L., культивируемого в Астраханской области // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 71–76. DOI: 10.14258/jcrpm.201503749.
10. Курамагомедов М. К., Алиев А. М., Исламова Ф. И., Мамалиева М. М., Раджабов Г. К., Мусаев А. М. Компонентный состав эфирных масел и антиоксидантная активность сортов *Hyssopus*

officinalis L., интродуцированных в горных условиях Дагестана // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2020. Т. 23. № 12. С. 24–30. DOI: 10.29296/25877313-2020-12-04.

11. Невкрытая Н. В., Мишнева А. В. Актуальные направления биохимических исследований эфиромасличных растений (Обзор. Часть 2). Анализ содержания и компонентного состава эфирного масла в растениях для целей селекции и семеноводства // Таврический вестник аграрной науки. 2019. №1 (17). С. 71–82. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-71-82.

12. Kotyuk L. A. Hyssop composition depending on age and plants development phases // Biotechnologia Acta. 2015. Vol. 8. No. 5. P. 55–63. DOI: 10.15407/biotech8.05.055.

13. Савчук Л. П. Климат предгорья Крыма и эфирносы. Симферополь: ЧП «Эльинь», 2006. 76 с.

14. Запрометов М. Н. Основы биохимии фенольных соединений. М.: Высшая школа, 1974. 214 с.

15. Федосеева Г. М. Способ определения полифенольных соединений. Авторское свидетельство № 125708. Иркутск, 1988.

16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.

17. Работягов В. Д. Изучение содержания эфирного масла в различных органах *Hyssopus officinalis* L. // Бюллетень Никитского ботанического сада. 2017. Вып. 125. С. 46–49.

18. Гагиева Л.Ч. Зависимость содержания биологически активных веществ в иссопе лекарственном (*Hyssopus officinalis* L.) от ритма сезонного развития // Сборник материалов XXVIII международной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке». Ч. 1. Харьков: НИЦ «Знание», 2017. С 26–35.

19. Хлыпенко Л. А., Работягов В. Д., Шибко А. Н. Изменчивость основных хозяйственно-ценных признаков у *Hyssopus officinalis* L. // Тезисы докладов международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию Никитского Ботанического Сада «Интродукция и селекция ароматических и лекарственных растений». Ялта: Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 2009. С. 196–197.

20. Wesołowska A., Jadczyk D. Comparison of the chemical composition of essential oils isolated from Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) with blue, pink and white flowers // Journal of essential oil-bearing plants JEOP. 2018. No. 21(4). P. 938–949. DOI: 10.1080/0972060X.2018.1530613.

References

1. 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. P. 233–235.

2. Grebennikova O. A., Paliy A. E., Khlypenko L. A., Rabotyagov V. D. Biologically active substances of *Hyssopus officinalis* L. // Orbital. 2017. No. 1. P. 21–28.

3. Kovalenko N. A., Akhramovich T. N., Supichenko G. N., Sachivko T. V., Bosak V. N. Antibacterial activity of *Hyssopus officinalis* essential oils // Khimija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of plant raw material]. 2019. No. 1. P. 191–199. DOI: 10.14258/jcprm.2019014083.

4. Bepalko L. V., Kharchenko V. A., Shevchenko Yu. P., Ushakova I.T. Common hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) // Vegetable crops of Russia [Ovoshchi Rossii]. 2016. No. 2. P. 60–63.

5. Myrzagalieva A. B., Medeubaeva B. Z., Syleimen E. M., Ibataev Zh. A. Investigation of the component composition of *Hyssopus ambiguus* L. essential oil in the conditions of East Kazakhstan // Eurasian Scientific Association. 2016. Vol. 1. No. 7(19). P. 9–11.

6. Rabotyagov V. D., Shibko A. N. Investigation of component composition of the essential oil *Hyssopus officinalis* L. // Works of the State Nikita Botanical Garden. 2014. Vol. 139. P. 94–106.

7. Dunaevskaya E. V., Khlypenko L. A., Rabotyagov V. D. *Hyssopus officinalis* L. varieties Nikitsky White selection Nikitsky garden // Materials of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor Aleksey Ivanovich Shreter “Prospects of Medicinal Plant Growing”. Moscow: All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR), 2018. P. 270–274.

8. Shibko A. N., Aksenov Yu. V. The dynamics of the essential oil accumulation and its component composition variability in *Hyssopus officinalis* during the day under the conditions of the Crimean premountains // Ekosistemy, ikh Optimizatsiya i Okhrana [Optimization and Protection of ecosystems]. 2011. Iss. 4. P. 127–133.

9. Velikorodov A. V., Kovalev V. B., Kurbanova F. Kh., Shchepetova E. V. Chemical composition of essential oil of *Hyssopus officinalis* L., cultivated in the Astrakhan region // Khimija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of plant raw material]. 2015. No. 3. P. 71–76. DOI: 10.14258/jcprm.201503749.

10. Kuramagomedov M. K., Aliev A. M., Islamova F. I., Mamaliev M. M., Radzhabov G. K., Musaev A. M. Component composition of essential oils and antioxidant activity of *Hyssopus officinalis* L. cultivars introduced in the mountainous conditions of Dagestan // Problems of Biological Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2020. Vol. 23. No. 12. P. 24–30. DOI: 10.29296/25877313-2020-12-04.

11. Nevkrytaya N. V., Mishnev A. V. Actual contemporary directions of biochemical research of oil-bearing aromatic plants (Review. Part 2). Analysis of the content and component composition of the essential oil in plants for the purpose of breeding and seed growing // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 1(17). P. 71–82. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-71-82.
12. Kotyuk L. A. Hyssop composition depending on age and plants development phases // Biotechnologia Acta. 2015. Vol. 8. No. 5. P. 55–63. DOI: 10.15407/biotech8.05.055.
13. Savchuk L. P. The climate of the foothill areas of the Crimea and essential oil crops. Simferopol: El'in'o, 2006. 76 p.
14. Zaprometov M. N. Fundamentals of biochemistry of phenolic compounds. Moscow: Vysshaya shkola, 1974. 214 p.
15. Fedoseeva G. M. A method for determining polyphenolic compounds. Certificate of authorship No. 125708. Irkutsk, 1988.
16. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alyans, 2011. 350 p.
17. Rabotyagov V. D. The studies of essential oil content in various organs of *Hyssopus officinalis* L. // Bulletin of the State Nikita Botanical Garden. 2017. Iss. 125. P. 46–49.
18. Gagieva L. Ch. The dependence of the content of biologically active substances in the medicinal hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) from the rhythm of seasonal development // Collection of materials of the XXVIII international scientific and practical conference “Development of Science in the XXI Century”. Kharkov: Scientific Information Center “Znanie”, 2017. Part. 1. P. 26–35.
19. Khlypenko L. A., Rabotyagov V. D., Shibko A. N. Variability of the main economically valuable traits in *Hyssopus officinalis* L. // Abstracts of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 200th anniversary of the Nikitsky Botanical Garden “Introduction and Breeding of Aromatic and Medicinal Plants”. Yalta: Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, 2009. P. 196–197.
20. Wesołowska A., Jadczyk D. Comparison of the chemical composition of essential oils isolated from hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) with blue, pink and white flowers // Journal of Essential Oil-Bearing Plants. 2018. No. 21(4). P. 938–949. DOI:10.1080/0972060X.2018.1530613.

UDC 633. 82: 665. 52

Pekhova O. A., Timasheva L. A., Danilova I. L., Belova I. V.

DYNAMICS OF ACCUMULATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN *HYSSOPUS OFFICINALIS* L. PLANTS GROWN IN THE FOOTHILL ZONE OF CRIMEA

Summary. *Hyssopus officinalis* L. is a promising essential oil plant of complex use containing various types of biologically active substances (BAS). The purpose of the research was twofold: study the features of accumulation of various types of BAS in *H. officinalis* plants grown in the foothill zone of the Crimea; assess the possibility to use them in perfumery, cosmetics, food industry, pharmacy and medicine. The research was conducted in 2017–2019 in the FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”. The raw materials of *H. officinalis* (population with blue flowers) grown without irrigation served as the research material. Qualitative and quantitative characteristics of raw materials and different types of BAS were determined according to generally accepted methods. Structural analysis of *H. officinalis* showed that the aboveground part of plants during the growing season had the following fractional composition: leaves (21.4–70.6 %), stems (18.8–30.9 %), inflorescences (22.0–59.1 %). The ratio of fractions by phases of vegetation varied, namely: in the phase of regrowth, leaves prevailed – 70.6 % but, at the end of the flowering, their content decreased to 21.4 %; the content of inflorescences reached its maximum in the phases of mass flowering and end of flowering 53.3–59.1 %. The main oil-synthesizing organs of *H. officinalis* were leaves and inflorescences. The highest yield amount of *H. officinalis* essential oil was obtained from inflorescences (1.94 %), which in the fractional composition of the raw material amounted to 53.3 %. The maximum amount of essential oil of specific quality accumulated in plants during the phase of mass flowering (1.26 % in terms of absolutely dry weight). The dominant components of essential oil are ketones: isopinocampone and pinocampone (75.9–78.6 %). A high level of phenolic

*compounds was determined in the phases of regrowth and flowering; extractive substances – in the budding phase; tannins – in the phase of mass flowering. During the storage of air-dry raw materials for two years, insignificant losses of essential oil occur (up to 20.2 %); its component composition changes (hydrocarbons amount decreased by 2.5–22.7 %; ketones – increased by 3.4–16.2 %). The content of other types of BAS during storage of raw materials increased by 10–30 %. Therefore, it is advisable to store air-dry raw materials of *Hyssopus officinalis* for two years or longer.*

Keywords: *Hyssopus officinalis* L., essential oil, biologically active substances, isopinocampnone, pinocampnone.

Пехова Ольга Антоновна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Тимашева Лидия Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Данилова Ирина Львовна, научный сотрудник ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: isocrimea@gmail.com8 (978) 810-51-99,

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

Pekhova Olga Antonovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Timasheva Lidia Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, leading researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Danilova Irina Lvovna, researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Belova Irina Viktorovna, Cand. Sc. (Agr.), researcher, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: isocrimea@gmail.com.

Дата поступления в редакцию – 12.10.2021.

Дата принятия к печати – 05.11.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-149-158

УДК 632.934

Сидоров Н. М.¹, Гырнец Е. А.¹, Астахов М. М.¹, Саенко К. Ю.¹, Асатурова А. М.¹,
Диденко А. О.²

**ОЦЕНКА ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ
ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»;

²Компания ООО «АДАМА РУС»

Реферат. Массовое применение однокомпонентных фунгицидов привело к проблеме появления резистентных форм фитопатогенов, одним из путей решения которой является разработка многокомпонентных средств защиты растений. Цель исследований – определить эффективность многокомпонентных химических протравителей в подавлении наиболее распространенных грибных патогенов и семенной инфекции в условиях *in vitro*. Работа выполнена в 2020 г. на базе ФНЦБЗР (г. Краснодар) в лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов. В качестве тест-объектов использовали грибы родов *Fusarium*, *Microdochium*, *Bipolaris*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Septoria*, *Pyrenophora*. Фунгицидную активность химических препаратов против экономически значимых фитопатогенов, вызывающих корневые гнили, оценивали в лабораторных условиях методом серийных разведений с последующим засевом на питательную среду. Кроме того, эффективность препаратов исследовали методом фитоэкспертизы протравленных семян согласно ГОСТ 12044–93. Препараты, в состав которых входили соединения группы триазолов и фенилпирролов, на 100 % ингибировали рост возбудителей ризоктониоза, гельминтоспориоза и септориоза. Препарат, содержащий соединения группы триазолов и стробилуринов, полностью подавлял рост только *Rhizoctonia solani*. Ингибирующее действие всех препаратов на ряд фитопатогенных грибов проявлялось в задержке роста, отсутствии развития воздушного мицелия и пигментации мицелия. В отношении возбудителей фузариозных корневых гнилей двухкомпонентные препараты проявили эффективность от 51 % до 74,4 %, тогда как трехкомпонентный препарат – от 42,9 % до 84,7 % в зависимости от вида рода *Fusarium*. Предпосевная обработка семян позволила полностью ингибировать рост грибов родов *Fusarium*, *Mucor*, *Aspergillus*, а также существенно ингибировать развитие гриба *Alternaria*, распространение которого составило 1,7 %, а в контрольном варианте – 46,7 %. Многокомпонентные препараты на основе триазолов и фенилпирролов обладают высокой эффективностью в подавлении широкого комплекса фитопатогенов и могут быть рекомендованы для предпосевной обработки семян.

Ключевые слова. *Triticum aestivum*, пшеница озимая, фунгициды, антифунгальная активность, триазолы, фенилпирролы, стробилурины, фитопатогенные грибы, семенная инфекция.

Для цитирования: Сидоров Н. М., Гырнец Е. А., Астахов М. М., Саенко К. Ю., Асатурова А. М., Диденко А. О. Оценка фунгицидной активности препаратов для предпосевной обработки семян озимой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 149–158. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-149-158.

For citation: Sidorov N. M., Gyrnets E. A., Astakhov M. M., Saenko K. Yu., Asaturova A. M., Didenko A. O. Comparative assessment of fungicidal activity of preparations for presowing treatment of winter wheat // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 149–158. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-149-158.

Введение

Защита растений от различных заболеваний – важная составляющая процесса сельскохозяйственного производства. Проведение мероприятий, направленных на защиту растений, начинается с подготовки семенного материала [1–3]. Предпосевная обработка семян с соблюдением принципов охраны окружающей среды является важной предпосылкой рентабельного производства сельскохозяйственных культур для получения полноценного урожая [4].

Особое внимание при обработке семян сельскохозяйственных растений уделяют защите от грибных заболеваний, опасных не только для растений, но и для человека. Для этого часто применяют фунгициды, содержащие действующие вещества (ДВ), относящиеся к одному и тому же химическому классу, что способствует формированию резистентности как устойчивого генетического признака [5, 6]. Также, в ряде хозяйств применяют фунгициды без учета видового состава возбудителей конкретного региона [7]. Поэтому резистентность – наиболее трудно преодолимое последствие пестицидных обработок, которое делает их во многих случаях малоэффективными и экономически неоправданными [8, 9].

Зафиксированы случаи возникновения резистентности почти против всех основных классов фунгицидов у самых разных видов фитопатогенов. Триазолы и стробилурины не являются исключением и согласно рейтингу Fungicide Resistance Action Committee (FRAC, <https://www.frac.info/>) риск резистентности к ним оценивают как средний и высокий [10]. Однако отказ от современных фунгицидов из группы высокого и среднего риска резистентности не представляется удачным с практической точки зрения. Они обеспечивают высокоэффективный контроль широкого спектра заболеваний и имеют ряд других преимуществ [11]. Поэтому одним из способов предотвращения возникновения устойчивости фитопатогенов является замещение однокомпонентных фунгицидов для обработки семян против определенной болезни на многокомпонентные препараты с комплексным действием, способным полностью подавить развитие инфекций, независимо от родового и видового состава патогенного комплекса [12, 13].

В качестве ДВ фунгицидов в мировом сельском хозяйстве используют не менее 150 химических соединений с различными механизмами действия, которые сейчас подразделяют на 46 классов. Фунгициды распределяют на группы в зависимости от строения действующего вещества, например, триазолы, фенилпирролы, стробилурины и др. Триазолы – химические соединения фунгицидного и защитного действия, эффективные против мучнистой росы, ржавчины, фомоза, фузариозной гнили и прочих болезней. Они ингибируют в грибной клетке только один специфический фермент, благодаря чему могут вызывать устойчивость у патогенов [14]. Стробилурины действуют на дыхательные процессы грибных клеток, предупреждают рост мицелия и спорообразование. Их относят к биологическим фунгицидам поскольку они имеют естественное происхождение, проявляя положительное действие на биологические и физиологические реакции растений [15, 16]. Фенилпирролы – стойкие химические вещества широкого спектра действия, влияющие на процессы, связанные с мембранным переносом веществ в клетке, что исключает вероятность появления резистентности патогенов к этим соединениям [17–19]. Таким образом, комбинирование фунгицидных соединений разного уровня риска позволяет снизить возникновение резистентности к применяемому препарату.

Также важное место среди комплексных протравителей занимают препараты, сочетающие в себе фунгицидные и инсектицидные компоненты с различными механизмами действия: имидаклоприд, тиаметоксам, клотианидин, ацетамиприд, тиаклоприд. Поэтому поиск и изучение фунгицидной активности комбинаций и

концентраций веществ различных химических классов в отношении комплекса патогенов является актуальной задачей.

Цель исследований – определение эффективности подавления наиболее распространенных грибных патогенов и семенной инфекции многокомпонентными химическими протравителями в условиях *in vitro*.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования стали три многокомпонентных препарата фунгицидного действия для предпосевной обработки семян пшеницы озимой со следующими химическими классами действующих веществ:

1. Препарат № 1 – (неоникотиноид + триазол + фенилпиррол) в норме применения 1 л/т.

2. Препарат № 2 – (неоникотиноид + стробилурин + триазолы) в норме применения 1,5 л/т.

3. Препарат № 3 – (неоникотиноид + триазол + фенилпиррол) в норме применения 1,75 л/т.

Чистые культуры грибных фитопатогенов для проведения исследований были получены из Биоресурсной коллекции «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» ФГБНУ ФНЦБЗР (БРК «ГКЭМ» № 585858): *Fusarium culmorum* BZR F–3, *F. graminearum* BZR F–4, *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F–6, *Microdochium nivale* BZR 5, *Bipolaris sorokiniana* 2670 BZR F–3, *Alternaria alternata* BZR F–12, *Penicillium* sp. BZR F–10, *Rhizoctonia solani* BZR F–11, *Septoria nodorum* BZR F–13, *Pyrenophora tritici-repentis* BZR F–7.

Для оценки фунгицидной активности препаратов использовали метод разведений [20]. В чашку Петри вносили по 0,027 мл рабочего раствора препарата. Затем вливали 15 мл питательного агара, охлажденного до 37–40 °С. Содержимое перемешивали вращательными движениями (15–20 раз). После застывания среды высевали агаровый блок с мицелием тест-культуры. Грибные фитопатогены культивировали на картофельно-глюкозном агаре в термостатируемых условиях при 23 °С. Расчет ингибирования патогена проводили по формуле [21]:

$$N = ((p - p_i) / p) \times 100 \%$$

где N – ингибирование роста колонии патогена, %; p – диаметр роста патогена в контроле, см; p_i – диаметр роста в варианте с препаратом, см.

В исследованиях использована материально-техническая база УНУ «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» Федерального научно-исследовательского центра биологической защиты растений (<http://скр-гф.ру/> реестровый № 671367).

Фунгицидную активность препаратов обеспечивает комбинация ДВ системного (тебуконазол, протиоконазол) и контактного (флудиоксанил, флуоксастробин) способа действия (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика исследуемых препаратов

Характер действия	Химический класс	ДВ	Способ проникновения	Препарат		
				№ 1	№ 2	№ 3
Фунгицидный	триазолы	тебуконазол	системный	+	+	+
		протиоконазол		+		
	фенилпирролы	флудиоксанил	контактный	+		+
	стробилурины	флуоксастробин			+	
Инсектицидный	неоникотиноиды	имидаклоприд	кишечный, контактный, системный	+		
		тиаметоксам				+
		клотианидин			+	

Следует отметить, что в состав препаратов № 1 и 3 входит фенилпиррол с низким риском возникновения резистентности и триазол с высоким. При этом тебуконазол в различных концентрациях присутствует во всех изучаемых протравителях.

Для изучения влияния протравителей на семенную инфекцию *in vitro* проводили фитоэкспертизу семян по ГОСТ 12044–93.

Результаты и их обсуждения

Исследование антифунгальной активности химических препаратов *in vitro*.

Была проведена оценка антифунгальной активности коммерческих препаратов в условиях *in vitro* в отношении десяти грибных патогенных культур, принадлежащих по типу питания к группам факультативных паразитов и сапрофитов. Спектр фунгицидной активности исследуемых пестицидов в отношении возбудителей экономически значимых болезней на 15-е сутки инкубации представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Эффективность химических препаратов в отношении возбудителей экономически значимых болезней зерновых культур

Вариант опыта	Ингибирование тест- культуры, %		
	Препарат №1	Препарат №2	Препарат №3
<i>F. graminearum</i> BZR F–4	74,4	42,9	72,4
<i>F. oxysporum</i> var. <i>orthoceras</i> BZR F–6	51,0	84,7	52,0
<i>F. culmorum</i> BZR F–3	63,2	65,3	63,2
<i>M. nivale</i> BZR F–5	35,7	48,0	42,8
<i>A. alternata</i> BZR F–12	84,6	55,1	86,7
<i>Penicillium</i> sp. BZR F–10	47,3	47,4	68,4
<i>P. tritici-repentis</i> BZR F–7	63,2	63,3	66,3
<i>R. solani</i> BZR F–11	100,0	100,0	100,0
<i>B. sorokiniana</i> 2670 BZR F–14	100,0	65,8	71,0
<i>S. nodorum</i> BZR F–13	100,0	84,0	100,0

В отношении возбудителей фузариозных корневых гнилей препарат № 1 проявлял эффективность от 51 % до 74,4 %, препарат № 2 – от 42,9 % до 84,7 %, препарат № 3 – от 52 % до 72,4 %. В вариантах с применением различных химических препаратов отмечена одинаковая антифунгальная активность в отношении исследуемых тест-объектов, что также проявилось в варианте с возбудителем желтой пятнистости листьев *P. tritici-repentis* BZR F–7 – эффективность во всех трех вариантах была почти одинакова и находилась в пределах 63–66 %.

В отношении возбудителя снежной плесени *M. nivale* BZR F–5 эффективность препаратов № 2 и № 3 составляла 48 % и 42,8 % соответственно, тогда как эффективность в варианте с применением препарата № 1 была ниже – 35,7 %.

Установлена закономерность антифунгальной активности в отношении *A. alternata* BZR F–12. Минимальная эффективность отмечена в варианте с применением препарата № 2 – 55,1 %, тогда как высокая эффективность выявлена в вариантах с препаратами № 1 и 3: 84,6 % и 86,7 % соответственно.

Максимальная антифунгальная активность в отношении *Penicillium* sp. BZR F–10 отмечена в варианте с применением препарата № 3, где ингибирование тест-объекта составило 68,4 %. В вариантах с препаратами № 1 и № 2 отмечен низкий уровень ингибирования мицелия гриба – менее чем 50 %.

Препарат № 1 полностью подавлял рост *R. solani* BZR F–11, *B. sorokiniana* 2670 BZR F–14 и *S. nodorum* BZR F–13. В отличие от варианта с применением препарата № 2, где 100 % эффективность была лишь в одном варианте с тест- культурой гриба *R. solani*

BZR F–11. В варианте с использованием препарата № 3 отмечено полное ингибирование двух фитопатогенных грибов *R. solani* BZR F–11 и *S. nodorum* BZR F–13.

Ингибирующее действие препаратов на рост патогенных грибов выражалось не только в отсутствии или ограничении роста колонии, но и в негативных морфологических изменениях мицелия по сравнению с контролем: отсутствие развитого воздушного мицелия, лизирование и изменение цвета мицелия. Морфологические изменения на примере тест-культуры грибов рода *Fusarium* представлены на рисунке 1.

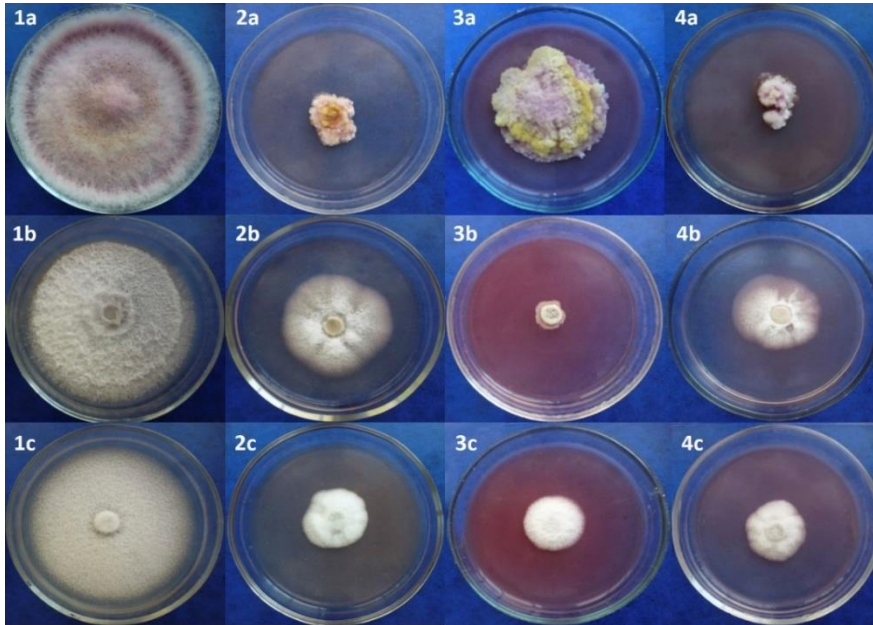


Рисунок 1 – Антифунгальная активность препаратов в отношении грибов рода *Fusarium*, 15 суток инкубирования.

Примечания: 1 – контроль; 2 – препарат № 1 (1 л/т); 3 – препарат № 2 (1,5 л/т); 4 – препарат № 3 (1,75 л/т); а – *F. graminearum* BZR F–4; б – *F. oxysporum* var. *orthoceras* BZR F–6; в – *F. culmorum* BZR F–3.

Таким образом, оценка антифунгальной активности коммерческих препаратов в условиях *in vitro* в отношении возбудителей экономически значимых болезней зерновых культур продемонстрировала различную степень ингибирования патогенов в зависимости от комбинации действующих веществ пестицидов. Стоит отметить высокий уровень эффективности препарата № 1, проявляющийся в полном ингибировании роста возбудителей коневых гнилей – *R. solani* BZR F–11 и *B. sorokiniana* 2670 BZR F–14, а также возбудителя септориоза *S. nodorum* BZR F–13, что не наблюдали в вариантах с применением других химических препаратов. Однако использование различных фунгицидов в равной степени негативно повлияло на изменение цвета грибной колонии, отсутствие воздушного мицелия.

Влияние химических препаратов на развитие семенной инфекции

Для оценки влияния химических препаратов на подавление семенной инфекции был проведен лабораторный тест во влажных камерах, где сравнивали контрольный образец без обработки семян и образцы, обработанные изучаемыми препаратами. Разнообразие фитопатогенов и эффективность подавления заболеваний испытываемыми препаратами представлены в таблице 3.

При изучении пораженности контрольного варианта без обработки препаратами получены следующие данные: распространенность грибов рода *Alternaria* spp. составляла

46,7 %, *Mucor spp.* – 15,0 %, *Aspergillus spp.* – 1,0 %, *Fusarium spp.* – 2,3 %, бактериозом были поражены 1,7 % семян.

Таблица 3 – Влияние препаратов для предпосевной обработки семян на развитие наружной семенной инфекции озимой пшеницы сорта Гром

Препарат	Норма применения, л/т	Распространенность патогена, %					
		<i>Alternaria spp.</i>	<i>Mucor spp.</i>	<i>Aspergillus spp.</i>	<i>Fusarium spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>	Бактериоз, %
Контроль	б.о.	46,7 ^a	15,0 ^a	1,0 ^a	2,3 ^a	0 ^a	1,7 ^a
№ 1	1,0	1,7 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^a	1,7 ^b
№ 2	1,75	6,3 ^c	0 ^b	0 ^b	1,3 ^c	0 ^a	0,7 ^c
№ 3	1,5	1,7 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0,3 ^b	1,7 ^a

Примечание. Данные, входящие в одну группу (латинские буквы) в пределах столбца, не имеют статистически значимых различий по критерию Дункана на уровне значимости 95 %.

В варианте с применением препарата № 1 (1,0 л/т) отмечено полное подавление развития фитопатогенных грибов родов *Mucor spp.*, *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.* Развитие грибов рода *Alternaria spp.* составляло 1,7 %, тогда как в контроле 46,7 %. В варианте с применением препарата № 3 (1,5 л/т) выявлено незначительное поражение семян грибами родов *Alternaria spp.* и *Penicillium spp.* 1,7 % и 0,3 % соответственно. В варианте с применением препарата № 2 (1,75 л/т) отмечено развитие грибов родов *Alternaria spp.* – 6,3 % и *Fusarium spp.* – 1,3 %.

Выводы

Полученные результаты показали, что содержание в препарате химических соединений из групп триазолов и фенилпирролов, к которым относят препараты № 1 и № 3, эффективно ингибируют рост широкого спектра возбудителей болезней. Высокая способность к ингибированию у препарата № 1 – угнетение грибных патогенов более чем на 50 % в восьми тест-культурах, в трех из которых произошло 100 %-е подавление мицелия: *R. solani* BZR F–11, *B. sorokiniana* 2670 BZR F–14 и *S. nodorum* BZR F–13. Для препарата № 3 высокий уровень ингибирования возбудителей экономически значимых болезней зерновых культур отмечен для девяти фитопатогенных грибов, рост *R. solani* BZR F–11, *S. nodorum* BZR F–13 ингибирован на 100 %. Напротив, для препарата № 2, содержащего ДВ из групп триазолов и стробилуринов, полное угнетение грибного патогена отмечено лишь для *R. solani* BZR F–11. Однако все препараты в равной степени приводили к морфологическим изменениям колоний исследуемых патогенов: изменение цвета грибной колонии, отсутствие воздушного мицелия.

Установлено, что препараты № 1 и 3 в равной степени подавляли семенную инфекцию, представленную грибами *Alternaria spp.*: распространенность патогена в опытных вариантах составила 1,7 %, тогда как в контрольном варианте – 46,7 %. Развитие грибов родов *Mucor spp.*, *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.* подавлялось полностью. Развитие патогенов *Alternaria spp.* и *Fusarium spp.* в варианте с применением препарата № 2 составило 6,3 % и 1,3 % соответственно.

Таким образом, многокомпонентные препараты на основе триазолов и фенилпирролов обладают высокой эффективностью в подавлении широкого комплекса фитопатогенов, что подтверждено лабораторными исследованиями, и могут быть рекомендованы для предпосевной обработки семян.

Исследования антифунгальной активности химических препаратов in vitro выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0495-2019-0013.

Исследования по влиянию препаратов для предпосевной обработки семян на развитие семенной инфекции выполнены по договору НИР № 1/19 от 29.07.2019 гг.

Литература

1. Побежимова Т.П., Корсукова А.В., Дорофеев Н.В., Грабельных О.И. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. № 9(3). С. 461–476. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476.
2. Freiberg J. A., Ludwig M. P., Giroto E. O tratamento de sementes afeta os componentes de rendimento do trigo? // Caderno. de Ciências Agrárias. 2021. No. 13. P. 1–5. DOI: 10.35699/2447-6218.2021.29642.
3. Freiberg J. A., Ludwig M. P., Avelar S. A. G., Giroto E. Seed treatment and its impact on wheat crop yield potential // Journal of Seed Science. 2017. No. 39. P. 280–287. DOI: 10.1590/2317-1545v39n3177754.
4. Горбатов В. С., Матвеев Ю. М., Кононова Т. В. Экологическая оценка пестицидов: источники и формы информации // Агро XXI. 2008. № 1(3). С. 7–9.
5. Горина И. Н. Лабораторный контроль за качеством протравливания семян зерновых культур препаратами, содержащими тиабендазол // Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Современные тенденции развития сельского хозяйства и актуальные подходы к подготовке кадров для агропромышленного комплекса». Чита: Издательство ЗабАИ, 2019. С. 43–47.
6. Hartmann F. E., Vonlanthen T., Singh N. K., McDonald M. C., Milgate A., Croll D. The complex genomic basis of rapid convergent adaptation to pesticides across continents in a fungal plant pathogen // Molecular Ecology. 2020. DOI: 10.1101/2020.07.24.220004.
7. Яруллина Л. Г., Сурина О. Б., Кулуев Б. Р., Умаров И. А., Яруллина Л. М., Ибрагимов Р. И. Оценка устойчивости к фунгицидам в культуре *in vitro* изолятов гриба *Tilletia caries* Tul. из различных агроклиматических зон Республики Башкортостан // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. № 15 (3–5). С. 1541–1544.
8. Lucas J. A., Hawkins N. J., Fraaije B. A. The evolution of fungicide resistance // Advances in Applied Microbiology. 2015. No. 90. P. 29–92. DOI: 10.1016/bs.aambs.2014.09.001.
9. Oliver R. P. A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides // Pest. Manag. Sci. 2014. No. 70. P. 1641–1645. DOI: 10.1002/ps.3767.
10. Щербак Л.А. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов и их хемосенсибилизация как способ повышения защитной эффективности триазолов и стробилуринов // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 5. С. 875–891. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.875rus.
11. Филиппов А. В., Кузнецова М. А., Рогожин А. Н. Как сохранить устойчивость картофеля к фунгицидам // Картофель и овощи. 2016. Т. 4. С. 26–28.
12. Чекмарев В. В., Кобыльская Г.В., Бучнева Г. Н., Корабельская О. И. Резистентность грибов рода *Fusarium* к протравителям семян // Защита и карантин растений. 2011. № 3. С. 19–20.
13. Mielniczuk E., Skwaryło-Bednarz B. *Fusarium* head blight, mycotoxins and strategies for their reduction // Agronomy. 2020. No. 10. P. 509. DOI: 10.3390/agronomy10040509.
14. Jorgensen K. M., Helleberg M., Hare R. K., Jorgensen L. N., Arendrup M. C. Dissection of the activity of agricultural fungicides against clinical *Aspergillus* isolates with and without environmentally and medically induced azole resistance // Journal of Fungi. 2021. No. 7(3). P. 205. DOI: 10.3390/jof7030205.
15. Макаров М. Р. Химические средства борьбы с некоторыми болезнями на посевах озимой пшеницы // Бюллетень науки и практики. 2019. № 1. С. 212–216. DOI: 10.5281/zenodo.2539747.
16. Feng Y., Huang Y., Zhan H., Bhatt P., Chen S. An overview of strobilurin fungicide degradation: current status and future perspective // Frontiers in Microbiology. 2020. No. 11. P. 389. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00389.
17. Белицкая М. Н., Грибуст И. Р., Байбакова Е. В., Нефедьева Е. Э., Шайхиев И. Г. Исследование и сравнительный анализ действующих веществ современных протравителей зерновых культур // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 9. С. 32–36.
18. Zhou F., Hu H. Y., Song Y. L., Gao Y. Q., Liu Q. L., Song P. W., Chen E. Y., Yu Y. A., Li D. X., Li C. W. Biological characteristics and molecular mechanism of fludioxonil resistance in *Botrytis cinerea* from Henan Province of China // Plant Disease. 2020. No. 104(4). P. 1041–1047. DOI: 10.1094/PDIS-08-19-1722-RE.
19. Brandhorst T. T., Klein B. S. Uncertainty surrounding the mechanism and safety of the post-harvest fungicide fludioxonil // Food and Chemical Toxicology. 2019. No. 123. P. 561–565.
20. Passera A., Venturini G., Battelli G., Casati P., Penaca F., Quaglino F., Bianco P.A. Competition assays revealed *Paenibacillus pasadenensis* strain R16 as a novel antifungal agent // Microbiological Research. 2017. No. 198. P. 16–26. DOI: 10.1016/j.micres.2017.02.001.
21. Основы учения об антибиотиках: учебник // Под ред. Нетрусова С. Н. М: МГУ, Наука, 2004. 528 с.

References

1. Pobezhimova T. P., Korsukova A. V., Dorofeev A. N., Grabelnykh O. I. Physiological effects of triazole fungicides on plants // Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2019. No. 9(3). P. 461–476. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476.

2. Freiberg J. A., Ludwig M. P., Giroto E. O tratamento de sementes afeta os componentes de rendimento do trigo? // Caderno de Ciências Agrárias. 2021. No. 13. P. 1–5. DOI: 10.35699/2447-6218.2021.29642.
3. Freiberg J. A., Ludwig M. P., Avelar S. A. G., Giroto E. Seed treatment and its impact on wheat crop yield potential // Journal of Seed Science. 2017. No. 39. P. 280–287. DOI: 10.1590/2317-1545v39n3177754.
4. Gorbatov V. P., Matveev Yu. M., Kononova T. V. Ecological assessment of pesticides: sources and forms of information // Agro XXI. 2008. No. 1(3). P. 7–9.
5. Gorina I. N. Laboratory quality control treatment of seeds of grain crops with preparations containing thiabendazole // Materials of the interregional scientific and practical conference “Modern trends in the development of agriculture and current approaches to training personnel for the agro-industrial complex”. Chita: ZabAI Publishing House, 2019. P. 43.
6. Hartmann F. E., Vonlanthen T., Singh N. K., McDonald M. C., Milgate A., Croll D. The complex genomic basis of rapid convergent adaptation to pesticides across continents in a fungal plant pathogen // Molecular Ecology. 2020. DOI: 10.1101/2020.07.24.220004.
7. Yarullina L.G., Surina O.B., Kuluev B.R., Umarov I.A., Yarullina L.M., Ibragimov R.I. Assessment of stability to fungicides in culture of *in vitro* of isolates of the mushroom *Tilletia caries* Tul. from various agroclimatic zones of the Republic of Bashkortostan // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Izvestia RAS SamSC). 2013. No. 15 (3-5). P. 1541–1544.
8. Lucas J. A., Hawkins N. J., Fraaije B. A. The evolution of fungicide resistance // Advances in Applied Microbiology. 2015. No. 90. P. 29–92. DOI: 10.1016/bs.aambs.2014.09.001.
9. Oliver R. P. A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides // Pest. Manag. Sci. 2014. No. 70. P. 1641–1645. DOI: 10.1002/ps.3767.
10. Shcherbakova L. A. Fungicide resistance of plant pathogenic fungi and their chemosensitization as a tool to increase anti-disease effects of triazoles and strobilurines (review) // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural biology]. 2019. Vol. 54. No. 5. P. 875–891. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.875eng.
11. Filippov A. V., Kuznetsova M. A., Rogozhin A. N. How to maintain the sensitivity of the causative agent of late blight of potato to fungicides // Potato and vegetables. 2016. Vol. 4. P. 26–28.
12. Chekmarev V. V., Kobyl'skaya G. V., Buchneva G. N., Korabel'skaya O. I. Resistance of fungi of *Fusarium* genus to seed dressing preparations // Plant protection and quarantine. 2011. No. 3. P. 19–20.
13. Mielniczuk E., Skwaryło-Bednarz B. *Fusarium* head blight, mycotoxins and strategies for their reduction // Agronomy. 2020. No. 10. P. 509. DOI: 10.3390/agronomy10040509.
14. Jorgensen K. M., Helleberg M., Hare R. K., Jorgensen L. N., Arendrup M. C. Dissection of the activity of agricultural fungicides against clinical *Aspergillus* isolates with and without environmentally and medically induced azole resistance // Journal of Fungi. 2021. No. 7(3). P. 205. DOI: 10.3390/jof7030205.
15. Makarov M. R. Chemical means of combating certain diseases in winter wheat // Bulletin of Science and Practice. 2019. No. 1. P. 212–216. DOI: 10.5281/zenodo.2539747.
16. Feng Y., Huang Y., Zhan H., Bhatt P., Chen S. An overview of strobilurin fungicide degradation: current status and future perspective // Frontiers in Microbiology. 2020. No. 11. P. 389. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00389.
17. Belitskaya M. N., Gribust I. R., Baibakova E. V., Nefedieva E. E., Shaikhiyev I. G. Research and comparative analysis of active substances of modern grain crop protectants // Kazan Technological University Bulletin. 2015. No. 9. P. 32–36.
18. Zhou F., Hu H. Y., Song Y. L., Gao Y. Q., Liu Q. L., Song P. W., Chen E. Y., Yu Y. A., Li D. X., Li C. W. Biological characteristics and molecular mechanism of fludioxonil resistance in *Botrytis cinerea* from Henan Province of China // Plant Disease. 2020. No. 104(4). P. 1041–1047. DOI: 10.1094/PDIS-08-19-1722-RE.
19. Brandhorst T.T., Klein B.S. Uncertainty surrounding the mechanism and safety of the post-harvest fungicide fludioxonil // Food and Chemical Toxicology. 2019. No. 123. P. 561–565. DOI: 10.1016/j.fct.2018.11.037.
20. Passera A., Venturini G., Battelli G., Casati P., Penaca F., Quaglino F., Bianco P.A. Competition assays revealed *Paenibacillus pasadenensis* strain R16 as a novel antifungal agent // Microbiological Research. 2017. No. 198. P. 16–26. DOI: 10.1016/j.micres.2017.02.001.
21. Fundamentals of the doctrine of antibiotics: Textbook, manual // Ed. by Netrusov S. N. Moscow: Publishing house MSU, Nauka, 2004. P. 528.

UDC 632.934

Sidorov N. M., Gyrnets E. A., Astakhov M. M., Saenko K. Yu., Asaturova A.M., Didenko A. O.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF FUNGICIDAL ACTIVITY OF PREPARATIONS FOR PRESOWING TREATMENT OF WINTER WHEAT

Summary. *The massive use of one-component fungicides has caused the problem of the emergence of resistant forms of phytopathogens. The development of multicomponent*

plant protection products is one of the ways of dealing with such a situation. The aim of the study is to determine the effectiveness of multicomponent chemical dressing agents in suppressing the most common fungal pathogens and seed infections in vitro. This work was performed in 2020 in the Federal Research Center for Biological Plant Protection (Krasnodar) in the laboratory of the creation of microbiological plant protection products and a collection of microorganisms. Fungi of the Fusarium, Microdochium, Bipolaris, Alternaria, Penicillium, Rhizoctonia, Septoria, Pyrenophora genera were used as test objects. The fungicidal activity of chemical preparations against economically significant phytopathogens causing root rot was evaluated in laboratory conditions by the method of serial dilutions followed by sowing on a nutrient medium. In addition, the effectiveness of the preparations was investigated by the method of treated seeds phytoexamination according to GOST 12044–93. The preparations, which included triazoles and phenylpyrroles, had the strongest inhibitory effect (100 %) on pathogens of Rhizoctonia, helminthosporiosis and septoria. The preparation containing compounds of the group of triazoles and strobilurins suppressed the growth of Rhizoctonia solani only. The preparations' inhibitory effect on a number of phytopathogenic fungi was manifested in growth retardation, absence of aerial mycelium development and mycelium pigmentation. Concerning the causative agents of Fusarium root rot, the two-component preparations efficacy ranged from 51 % to 74.4 %; three-component one – from 42.9 % to 84.7 % depending on the species of the genus Fusarium. Presowing seed treatment made it possible to inhibit the growth of fungi of the genera Fusarium, Mucor, Aspergillus; significantly inhibit the development of the fungus Alternaria (spread in the experimental variant – 1.7 %, in the control variant – 46.7 %). From the data obtained, it can be concluded that multicomponent preparations based on triazoles and phenylpyrroles are highly effective in suppressing a wide range of phytopathogens and can be recommended for presowing seed treatment.

Keywords. *Triticum aestivum, winter wheat, fungicides, antifungal activity, triazoles, phenylpyrroles, strobilurins, phytopathogenic fungi, seed infection.*

Сидоров Никита Михайлович, научный сотрудник лаборатории создания микробиологических средств защиты растений и коллекции микроорганизмов ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: elisitor@mail.ru.

Гырнец Евгений Анатольевич, младший научный сотрудник лаборатории стандартизации и контроля качества биологических средств защиты растений ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: evgenijgurnets@mail.ru.

Астахов Михаил Михайлович, младший научный сотрудник лаборатории стандартизации и контроля качества биологических средств защиты растений ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: astahov.91@inbox.ru.

Саенко Ксения Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории стандартизации и контроля качества биологических средств защиты растений ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039, Россия, г. Краснодар, ФНЦБЗР, п/о 39; e-mail: saenkok1997@yandex.ru

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

Диденко Антон Олегович, кандидат биологических наук, специалист по развитию продуктов ООО «АДАМА РУС», 350039, Россия, г. Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39/1; e-mail: anton.didenko@adama.com.

Sidorov Nikita Mikhailovich, researcher in the Laboratory for the development of microbiological plant protection agents and formation of microorganisms, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: elisitor@mail.ru.

Gyrnets Evgeny Anatolievich, junior researcher of the Laboratory of standardization and quality control of biological plant protection products, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: evgenijgyrnets@mail.ru.

Astakhov Mikhail Mikhailovich, junior researcher of the Laboratory of standardization and quality control of biological plant protection products, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: astahov.91@inbox.ru.

Saenko Ksenia Yurievna, junior researcher of the Laboratory of standardization and quality control of biological plant protection products, FSBSI “Federal Research Center of Biological Plant Protection”; Federal Research Center of Biological Plant Protection (FNCBZR) (post office No. 39), Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: saenkok1997@yandex.ru.

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

Didenko Anton Olegovich, Cand. Sc. (Biol.), product development specialist “ADAMA RUS OOO” (Limited Liability Company); 39/1, 40 let Pobedy str., Krasnodar, 350039, Russia; e-mail: anton.didenko@adama.com.

Дата поступления в редакцию – 18.08.2021.

Дата принятия к печати – 10.10.2021.

DOI 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182

УДК 579.64; 631.461; 633.1

Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л.

**ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИЕ МИКРООРГАНИЗМЫ:
1. БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ВЛИЯНИЕ НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ
РАСТЕНИЙ И ИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. Фосфор – один из основных питательных элементов, обеспечивающий благоприятное влияние не только на рост и развитие растений, а также ускорение образования репродуктивных органов, но и на формирование высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур с высоким качеством товарной продукции. Наибольшая питательная ценность для растений по праву принадлежит легкоусвояемым соединениям фосфора почвы и удобрений. Одним из перспективных направлений улучшения фосфорного питания сельскохозяйственных культур является биологическая фосфатмобилизация, осуществляемая почвенными микроорганизмами – бактериями и мицелиальными грибами (микромицетами) и способствующая переводу труднорастворимых соединений фосфора в доступные для высших растений формы. В данной обзорной статье рассмотрено воздействие микроорганизмов на растения с позиций улучшения их минерального питания, в частности фосфорного. Проведен анализ отечественных и зарубежных источников литературы (в основном за последние 15 лет), посвященных изучению биоразнообразия почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов и их влиянию на трансформацию труднорастворимых соединений фосфора. Детально раскрыты особенности механизмов биотрансформации органических и минеральных фосфатов почвенными микроорганизмами и основные критерии скрининга их эффективных изолятов, способных превращать труднорастворимые соединения фосфора в формы, доступные для растений. Показано, что биотрансформацию труднорастворимых соединений фосфора в водорастворимые формы осуществляют микроорганизмы, принадлежащие к различным таксономическим группам: бактериям и микромицетам. Рассмотрены работы, в которых исследованы вопросы практического применения эффективных штаммов микроорганизмов, трансформирующих труднодоступные соединения фосфора в усвояемые для растений формы и показана их роль в повышении доступности фосфора для сельскохозяйственных растений и увеличении их продуктивности. Приведена детальная характеристика микробных препаратов на основе фосфатмобилизующих микроорганизмов: «Агрофил», «Биовайс», «Экофосфорин», «Эковитал», «Биофосфорин», «Альбобактерин», «Полимиксобактерин», «Агробактерин», «Фосфостим», «Фитостимофос», «Агромик», «Бактопин», разработанных и применяемых в различных странах с целью оптимизации минерального питания культурных растений.

Ключевые слова: биологическая фосфатмобилизация, бактерии, микромицеты, солюбилизация, минерализация, продуктивность растений, микробные препараты.

Для цитирования: Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизующие микроорганизмы: 1. Биоразнообразие, влияние на минеральное питание растений и их продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 159–182. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.

For citation: Chaikovskaya L. A., Ovsienko O.L. Phosphate-mobilizing microorganisms: 1. Biodiversity, influence on plants mineral nutrition and productivity // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 4(28). P. 159–182. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.

Введение

Фосфор (P), наряду с азотом (N) и калием (K), является одним из важных макроэлементов, необходимым для эффективного функционирования растений на всех этапах их роста и развития. Хотя в различных типах почв валовое содержание фосфора в виде органических и неорганических соединений достигает высокого уровня, большинство из них остаются неактивными и, следовательно, недоступными для растений. В кислых почвах преобладают труднорастворимые фосфаты алюминия (Al) и железа (Fe), в нейтральных и карбонатных – фосфаты кальция (Ca). Потому одной из наиболее острых проблем в земледелии является фосфорное питание растений, что связано с двумя основными причинами: ограниченным запасом фосфатных руд и быстрым связыванием этого элемента в почве при внесении с удобрениями. Известно, что растения ассимилируют не более 20–25 % P, вносимого с минеральными химическими удобрениями [1–3]. Остальная часть вымывается или переходит в почве в нерастворимую форму и становится недоступной для растений. Также, увеличение норм внесения минеральных удобрений не только нарушает баланс питания растений, но и приводит к снижению качества продукции и нарушению экосистемы почв, грунтовых вод и открытых водоемов.

Необходимо учесть то, что производство фосфорных минеральных удобрений – это энергоемкий и дорогостоящий процесс, чрезвычайно загрязняющий окружающую среду. Так как многие фермерские хозяйства в настоящее время не могут позволить себе использовать достаточное количество фосфорных удобрений для сокращения дефицита фосфора, необходимы альтернативные методы обеспечения P. Поэтому во многих странах проводят интенсивные исследования, направленные на поиск экологических приемов обеспечения растений фосфором, которые бы дополнили и частично заменили промышленные химические фосфорные удобрения. Одно из перспективных направлений улучшения фосфорного питания сельскохозяйственных культур – биологическая фосфатмобилизация, осуществляемая почвенными микроорганизмами (бактериями и микромицетами), которая способствует трансформации труднорастворимых соединений фосфора из почвы и удобрений в формы, доступные для высших растений [4–11]. Накопленный опыт свидетельствует о том, что применение бактериальных препаратов в технологиях выращивания сельскохозяйственных культур оказывает благоприятное воздействие на минеральное питание растений и увеличивает выход высококачественной продукции при рациональных расходах минеральных удобрений, а также улучшает экологическое состояние почв и повышает их плодородие [12–14]. Количество микробных препаратов для растениеводства в последние годы значительно увеличилось. Они созданы на основе свободноживущих, ассоциативных и симбиотических микроорганизмов, способных фиксировать атмосферный азот или превращать труднорастворимые фосфаты в формы, доступные для растений. Успешное применение эффективных микроорганизмов связано с правильным пониманием комплекса взаимодействий, происходящих между различными компонентами системы растение-микроорганизмы-почва. В настоящем обзоре рассмотрены различные аспекты микробной фосфатмобилизации: разнообразие фосфатмобилизирующих микроорганизмов, механизмы трансформации труднорастворимых соединений фосфора, влияние на минеральное питание и продуктивность растений.

Биоразнообразие фосфатмобилизирующих микроорганизмов и механизмы трансформации ими труднорастворимых соединений фосфора. Почвенные

микроорганизмы играют важную роль в круговороте фосфора благодаря его мобилизации из нерастворимых минеральных соединений (в частности фосфатов кальция, железа и алюминия) и трансформации органических фосфатов. Широкие микробиологические исследования, проведенные в последней четверти прошлого века и в начале нынешнего, выявили значительное распространение фосфатмобилизующих микроорганизмов в различных почвенно-климатических условиях [15–17]. Основными факторами превращения в почве труднорастворимых соединений фосфора в доступные для растений формы являются продукты микробного метаболизма. Известны две основные стратегии воздействия фосфатмобилизующих микроорганизмов на повышение доступности Р в почве: 1) усиленное растворение минеральных фосфатов благодаря подкислению почвенного раствора и высвобождению металла комплексообразователя (преимущественно анионов органических кислот) и 2) ферментативное расщепление органических фосфатов [15, 18]. С точки зрения круговорота фосфора в естественных условиях, вероятно, что вторая стратегия наиболее важна в природном потоке Р через систему растение–почва. Однако в условиях с высокой степенью ограничения Р (почвы сельскохозяйственных угодий), вероятно, первая стратегия становится более важной для мобилизации труднорастворимых фосфатов. Рассмотрим более детально роль фосфатмобилизующих микроорганизмов в каждой из стратегий.

Снижение рН почвенного раствора. Способность некоторых почвенных микроорганизмов растворять фосфаты кальция с помощью органических и минеральных кислот, образуемых бактериями и микромицетами, была выявлена еще в начале прошлого века. Установлено, что подкисление является одним из главных механизмов биологической мобилизации фосфора минеральных фосфатов. Основным механизмом растворения фосфатов является снижение рН почвенного раствора благодаря микробиологическому продуцированию органических кислот или высвобождению протонов [6, 11, 15, 20–22]. Наиболее распространенными органическими кислотами, растворяющими фосфаты, являются лимонная, молочная, глюконовая, щавелевая, уксусная, 2-кетоглюконовая, яблочная, фумаровая, янтарная, винная, малоновая, глутаровая, пропионовая, масляная, глиоксалева и адипиновая [6, 21, 22]. Из перечисленных органических кислот, глюконовая и 2-кетоглюконовая – наиболее частые агенты растворения минеральных соединений фосфора [6, 19]. Так, глюконовая кислота доминирует среди органических кислот, продуцируемых такими фосфатмобилизующими бактериями, как *Pseudomonas sp.*, *Erwinia herbicola* и *Burkholderia cepacia* [19]. Главными продуцентами 2-кетоглюконовой кислоты, идентифицированной у штаммов, обладающих способностью к солубилизации фосфатов, являются *Rhizobium leguminosarum*, *R. meliloti* и *Bacillus firmus* [19]. Имеются сведения о том, что грамотрицательные бактерии по сравнению с грамположительными более эффективно растворяют минеральные соединения фосфора: благодаря интенсивному выделению различных органических кислот в окружающую среду [22]. Кроме того, фосфатмобилизующие микроорганизмы создают кислотность путем выделения CO_2 , как это происходит при солубилизации фосфатов кальция [6].

Хелатирование. Важная роль в растворении фосфорсодержащих минералов почвы принадлежит хелатообразованию [6, 11]. Известно, что органические и неорганические кислоты, продуцируемые фосфатрастворяющими микроорганизмами, не только подкисляют среду, но и образуют хелаты с металлами [7, 23, 24]. Хелаты – это комплексные соединения металлов со сложной органической молекулой, одним из важных свойств которых является легкая растворимость. Гидроксильные и карбоксильные группы кислот хелатируют катионы, связанные с фосфатом, тем самым превращая его в растворимые формы. Мощным хелатором является 2-кетоглюконовая кислота, которую продуцируют многие аэробные

фосфатрастворяющие микроорганизмы: они универсальны в солюбилизации различных форм гидроксиапатитов, фторапатитов и фосфатов Al [6]. Имеются сведения о том, что гуминовым и фульвокислотам, которые выделяются при микробиологическом разложении растительных остатков, также присущи свойства хороших хелаторов Ca, Fe и Al, присутствующих в нерастворимых фосфатах [25].

Минерализация. Большая группа труднодоступных для растений почвенных фосфатов – это органические соединения, наиболее распространенными из них являются соли фитиновой кислоты. Органические фосфаты преобразуются микроорганизмами в процессе минерализации в доступную для растений форму. Они попадают в почву вместе с растительными и животными остатками, содержащими большое количество органических соединений фосфора, таких как: фосфолипиды, фосфогликозиды, фитиновая кислота, нуклеиновые кислоты, полифосфаты и фосфонаты [7, 15]. Важная роль в круговороте фосфора в почвах сельскохозяйственных угодий принадлежит минерализации и иммобилизации органических фосфатов. Фосфатмобилизующие микроорганизмы минерализуют органические соединения фосфора путем продуцирования фосфатаз, в частности фитазы [7, 15, 21, 22, 26]. Фитаза гидролизует органические формы фосфатов и высвобождает неорганический фосфор, который иммобилизуется как растениями, так и микроорганизмами. Микроорганизмы (бактерии и микромицеты), разлагающие фитаты Ca, Al и Fe, впервые выделены из почв и описаны Г. С. Муромцевым, В. Ф. Павловой и Т. С. Самойловой [15]. К микромицетам, наиболее часто продуцирующим фитазу, относятся: *Aspergillus candidus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. parasiticus*, *A. rugulosus*, *A. terreus*, *Penicillium rubrum*, *P. simplicissimum*, *Pseudeurotium zonatum*, *Trichoderma harzianum* и *T. viride* [15, 26]. Щелочные и кислые фосфатазы также используют органические фосфаты в качестве субстрата для преобразования их в неорганическую форму. Почвенные бактерии, в том числе и *Streptomyces sp.*, минерализуют сложные органические фосфаты благодаря продуцированию внеклеточных ферментов, таких как фосфоэстеразы, фосфодиэстеразы, фитазы и фосфолипазы [6]. Имеются сведения о том, что смешанные культуры фосфатмобилизующих бактерий (бацилл, стрептококков и псевдомонад) наиболее эффективны в минерализации органических соединений фосфора [7]. Некоторые фосфатмобилизующие микроорганизмы продуцируют сидерофоры, обладающие способностью к гидролизу органических фосфатов в почве и превращению их в доступные формы [7, 9, 21, 22].

Исходя из вышеизложенного, превращение труднорастворимых соединений фосфора в водорастворимые доступные для растений формы могут осуществлять микроорганизмы, принадлежащие к различным таксономическим группам – бактериям и микромицетам.

Б а к т е р и и. Исследования, проведенные в различных странах, свидетельствуют о том, что солюбилизацию труднорастворимых фосфатов могут осуществлять бактерии достаточно широкого круга. Так, китайские исследователи выделили из ризосферы грецкого ореха 34 штамма почвенных фосфатрастворяющих бактерий и идентифицировали их под родами *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Bacillus*, *Cupriavidus*, *Agrobacterium*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Pantoea* и *Rhodococcus* путем сравнения последовательностей 16S рибосомальной РНК [27]. Установлено, что фосфатрастворяющая активность выделенных штаммов связана со снижением pH среды. Для дальнейших экспериментов использовали три штамма с высокими фосфатрастворяющими способностями: *Pseudomonas chlororaphis* (W24), *P. fluorescens* (W12), *Bacillus cereus* (W9). В условиях тепличных экспериментов показано, что применение W24 или W12 значительно улучшило биометрические показатели сеянцев грецкого ореха (высоту, сухую массу побегов и корней), а также

поглощение Р и N растениями. Однако наиболее выраженное благотворное влияние отмечено при совместной инокуляции тремя штаммами фосфатрастворяющих бактерий.

Ученые Аргентины определили потенциал бактериальных штаммов, ассоциированных с растениями арахиса. Выделено 433 изолята из ризосферы, филлосферы и растительных тканей арахиса, выращенного в производственном районе Кордовы. Выявлено, что солюбилизирующей активностью к трикальцийфосфату обладают 37 эпифитных и 73 эндофитных изолята из этой коллекции [28]. Наиболее эффективный изолят J49, увеличивающий биомассу растений арахиса в экспериментах с инокуляцией, идентифицирован как бактерия, принадлежащая к роду *Pantoea*.

Из почв сельскохозяйственных угодий выделена бактерия, солюбилизирующая минеральные фосфаты, идентифицированная как *Burkholderia cepacia* DA23 [29]. В лабораторных экспериментах количественно определена фосфатрастворяющая активность штамма в отношении трех типов минерального нерастворимого фосфата. Установлено, что при использовании в качестве источника углерода глюкозы 3 %-й концентрации, *B. cepacia* DA23 обладает выраженной фосфатсолюбилизирующей активностью, напрямую связанной со снижением pH питательной среды.

Изучено влияние двух штаммов (*Pseudomonas fluorescens* и *Bacillus megaterium*) почвенных бактерий, растворяющих минеральные фосфаты, на посевные качества семян и рост проростков нута в лабораторных опытах [30]. Показано, что при комбинированной инокуляции (обоими штаммами бактерий) семян нута увеличение длины корешка и проростка было больше по сравнению с моноштаммовой обработкой.

В литературных источниках имеются сведения о выделении фосфатрастворяющих бактерий из ризосферы и ризопланы риса *Oryza sativa* L. Так, индийские исследователи выделили из различных типов почв ризосферы риса 30 эффективных изолятов, идентифицированных как *Enterobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella* и *Serratia* [31]. Выделенные штаммы бактерий высвобождали из трикальцийфосфата большое количество Р (от 22,4 до 825,8 мкг/мл), а количество фосфатазы, выделяемой в среду, варьировало в пределах 11,6–64 U. Однако авторы заключают, что эффективность штаммов для солюбилизации фосфата в большей мере зависит от специфичности фермента фосфатазы, чем от её количества, выделяемого в среду. Среди всех изученных штаммов наибольшее количество фосфора выделял штамм А4 (*Enterobacter aerogenes*). Исследователи из Бангладеш [32] выделили из ризопланы риса шесть эффективных изолятов фосфатрастворяющих бактерий, идентифицированных по фенотипическим признакам и данным секвенирования генов 16S рРНК как *Acinetobacter sp.* BR-12, *Klebsiella sp.* BR-15, *Acinetobacter sp.* BR-25, *Enterobacter sp.* BR-26, *Microbacterium sp.* BRS-1 и *Pseudomonas sp.* BRS-2. Наиболее высокую фосфатрастворяющую активность проявили штаммы BR-25 и BR-15. Анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа двухнедельных проростков риса из семян, предварительно инокулированных BR-25 и BR-15, выявил плотную колонизацию бактериальных клеток на поверхности корней (предположительно с использованием фимбрий).

Исследование влияния эффективного фосфатрастворяющего штамма *Acinetobacter rhizosphaerae* ВИНВ 723, выделенного из почв холодных пустынь Транс-Гималаев, на труднорастворимые минеральные фосфаты показало значительно более высокую растворимость трикальцийфосфата, чем природных фосфоритов различных месторождений: Удайпур, Муссури и Северная Каролина [33]. При солюбилизации штаммом *A. rhizosphaerae* ВИНВ 723 различных труднорастворимых соединений

фосфора выявлены качественные и количественные различия в продуцировании органических кислот (глюконовой, щавелевой, 2-кетоглюконовой, молочной, яблочной и муравьиной). Выявлено, что в составе органических кислот, продуцируемых штаммом ВИНВ 723 при растворении фосфатов, доминировала глюконовая кислота. Установлено также, что продуцирование муравьиной кислоты лимитировалось солюбилизацией трикальцийфосфата, а щавелевой – природных фосфоритов. В условиях вегетационных опытов отмечено положительное влияние инокуляции *A. rhizosphaerae* ВИНВ 723 на увеличение высоты растений, сухой массы их побегов, длины и сухой массы корней, а также содержания фосфора (P) в корнях, побегах и почве по сравнению с небактеризованными растениями, выращенными на фонах с внесением минеральных удобрений.

Поиск эффективных штаммов бактерий, способных к солюбилизации минеральных труднорастворимых фосфатов, проведен исследователями Китая. Так, спорообразующий штамм 9320-SD, выделенный из каштановой пахотной почвы, эффективно высвобождал растворимый фосфор из порошкообразного фосфорита после инкубации в жидкой питательной среде при температуре 30 °С [34]. Максимальное количество доступного фосфора достигало 12,01 ммоль/л после семидневной инкубации. Отмечена прямая положительная корреляция ($r = 0,9330$) между уровнем высвобождения растворимого фосфора и концентрацией жизнеспособных бактерий. Проведено выделение и скрининг 36 штаммов фосфатсоллюбилизирующих бактерий из субтропических почв Центрального Тайваня [35]. Фосфатрастворяющая активность изолятов проверена на среде с трикальцийфосфатом после инкубации при 30 °С. Идентификация и филогенетический анализ штаммов, проведенные на основе секвенирования 16S рРНК показали, что 10 изолятов принадлежали к роду *Bacillus*, девять – к роду *Rhodococcus*, семь – к роду *Arthrobacter*, шесть – к роду *Serratia* и по одному – к родам *Chryseobacterium*, *Delftia*, *Gordonia* и *Phyllobacterium*. Кроме того, для четырех штаммов (*Arthrobacter ureafaciens*, *Phyllobacterium myrsinacearum*, *Rhodococcus erythropolis* и *Delftia sp.*) впервые выявлена способность растворять значительное количество трикальцийфосфата в жидкой среде путем выделения органических кислот и снижением pH среды. В культуральной жидкости этих изолятов обнаружено восемь различных видов органических кислот, а именно: лимонная, глюконовая, молочная, янтарная, пропионовая и три неидентифицированные кислоты.

Крымские ученые провели первичную оценку штаммов фосфатмобилизирующих бактерий, выделенных из чернозема южного карбонатного ризосферы озимой пшеницы [36]. Установлено, что большинство (82 %) исследуемых штаммов характеризуется высоким коэффициентом удельной фосфатрастворяющей активности (Kr), наибольшее его значение отмечено для штамма 0613. Выявлено, что 44 % штаммов обладают высокой способностью к трансформации $Ca_3(PO_4)_2$ в растворимую форму, максимальное содержание P_2O_5 (212 мг/л) отмечено в культуральной жидкости штамма 1702. В условиях лабораторных опытов изучено влияние отобранных штаммов фосфатмобилизирующих бактерий на посевные качества семян озимой пшеницы. Показано, что инокуляция семян повышает их всхожесть и энергию прорастания, а также обеспечивает достоверную прибавку массы проростков озимой пшеницы по сравнению с контролем: нововыделенные штаммы 0735, 1204, 1701 – на 32, 38 и 29 % соответственно.

Из ризосферы различных сельскохозяйственных культур Кореи выделены и идентифицированы бактерии, активно растворяющие труднорастворимые минеральные фосфаты в жидкой культуре [37]. В результате скрининга отобраны 13 наиболее перспективных изолятов, а также проведена их идентификация на основе анализа последовательности 16S рРНК, что позволило отнести их к родам

Enterobacter, *Pantoea* и *Klebsiella*. Последовательности трех репрезентативных штаммов депонированы в библиотеке данных нуклеотидных последовательностей GenBank под регистрационными номерами AY335552, AY335553, AY335554.

Существуют данные о наличии фосфатмобилизующей способности у симбиотических азотфиксирующих бактерий [38]. Так, у одного из штаммов (ARPV02), выделенных из растений *Phaseolus vulgaris* произрастающих в почве Эль-Чако-Аридо (Аргентина), обнаружена высокая способность к клубенькообразованию, фиксации азота и растворению минеральных фосфатов. Секвенирование 16S рРНК, выполненное для штамма ARPV02, показало его 100 % сходство со штаммом первого типа *Rhizobium trifolii* ATCC14480, который рассматривается в настоящее время как биовар вида *Rhizobium leguminosarum* вместе с биоварами *viceae* и *phaseoli*.

Проведены исследования изолятов ризобий, выделенных из почв Ирана, на способность к растворению неорганических и органических фосфатов [39]. Выявлено, что из 446 изолятов растворяли трикальцийфосфат и инозитол гексафосфат 198 (44 %) и 341 (76 %) соответственно. Кроме того, установлено, что изоляты, принадлежащие к группе *Rhizobium leguminosarum* *bv. viciae*, мобилизуют трикальцийфосфат в жидкой среде. Отмечена значительная корреляция между высвобождением растворимого Р и снижением рН фильтратов культуральной жидкости, что указывает на важность продуцирования кислоты в процессе мобилизации. Однако, ни у одного из 70 протестированных изолятов *Bradyrhizobium* не выявлено способности к солюбилизации трикальцийфосфата в жидкой среде.

Из ризосферы сои выделена бактерия, растворяющая фосфаты, устойчивая к соли и рН и идентифицированная как *Pantoea agglomerans* [40]. При культивировании в жидкой среде (30 °С) наибольшая солюбилизация нерастворимых фосфатов отмечена для гидроксиапатита (1357 мг/л) и трикальцийфосфата (1312 мг/л). Кроме того, штамм *P. agglomerans* продуцировал растворимый фосфат в культуральную жидкость из FePO₄ и AlPO₄: 28 мг/л и 19 мг/л соответственно.

Известно, что стрептомицеты являются мощными продуцентами многих ферментов, однако сведения в литературных источниках об их участии в процессе солюбилизации труднорастворимых фосфатов незначительны. Так, некоторые авторы отмечают положительное влияние *Streptomyces albus*, *S. cyaneus* и *Streptoverticillium album* на подвижность фосфора и его доступность для растений [11, 22]. Проведен скрининг восьми изолятов стрептомицетов, солюбилизирующих труднорастворимые фосфаты из месторождений Марокко [41]. Выявлено, что шесть из этих штаммов эффективно высвобождали растворимый фосфор из труднорастворимых фосфатов и были способны к росту на корневых экссудатах пшеницы в качестве единственных источников питательных веществ. Также данные изоляты подавляли рост потенциально фитопатогенных грибов, бактерий (грамм +/-) и дрожжей. Для пяти из этих штаммов характерно продуцирование индолилуксусной кислоты, а четыре проявляли эндофитные свойства. Проведены эксперименты в условиях лабораторных опытов: изоляты стрептомицетов культивировали в присутствии проростков пшеницы в синтетической минимальной среде (в пробирках), содержащей нерастворимый фосфат в качестве единственного источника фосфора. Выявлено, что наиболее активные штаммы, солюбилизирующие труднорастворимые фосфаты, оказывали стимулирующее действие на продуктивность растительной биомассы. Подобные результаты получены и при выращивании пшеницы в условиях вегетационного эксперимента (субстрат – почва). Необходимо отметить, что наиболее эффективный штамм *Streptomyces griseus* (ВН7) стимулировал рост растений по сравнению с контролем (без инокуляции) как в модельных опытах в пробирках, так и в условиях вегетационных опытов более чем на 70 % и 30 % соответственно. Проведенные эксперименты демонстрируют возможность применения стрептомицетов для

разработки новых, экологически безопасных методов ведения сельского хозяйства путем внесения новых биоудобрений и продуктов биоконтроля, состоящих из спор и/или мицелия специальных актинобактерий в сочетании с измельченными труднорастворимыми фосфатами.

Микробиоты. Почвенные микромицеты принимают активное участие в трансформации труднорастворимых фосфатов. Растворение неорганического Р микробными сообществами, включая грибы, является обычным явлением в условиях *in vitro*; однако *in situ* эффективность микробов, солюбилизирующих фосфаты, противоречива. Необходимо отметить, что почвенные микромицеты, помимо солюбилизации минералов, проявляют такие свойства, как биологический контроль и выработка вторичных метаболитов. Таким образом, их потенциал для усиления роста растений очевиден [15, 23, 42]. В литературных источниках имеются сведения о том, что микромицеты, выделенные из почвы засушливых и полузасушливых районов Индии, продуцируют фитазу и фосфатазу [26]. Установлена способность выделенных изолятов к гидролизу двух важных органических соединения фосфора: фитина и глицерофосфата. Идентификация изученных микромицетов установила их принадлежность к четырем родам: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Pseudeurotium* и *Trichoderma*.

Китайские исследователи выделили из ризосферы пшеницы три стрессоустойчивых и фосфатрастворяющих штамма почвенных грибов, идентифицированных как *Aspergillus niger*, *A. japonicus*, *Penicillium simplicissimum* [43]. Наибольшая эффективность в растворении фосфата горных пород характерна для *P. simplicissimum*, за которым следовали *A. niger* и *A. japonicus*. Все штаммы демонстрировали высокий уровень стрессоустойчивости к таким факторам, как температура – 10~45 °С, рН – 4~11 ед., засоление – 0~3,5 % NaCl. Кроме того, отмечено различие штаммов по своей способности выживать и выделять растворимый фосфор из фосфата горных пород в условиях стресса.

Данные литературных источников свидетельствуют о положительном влиянии фосфатрастворяющих штаммов микромицетов не только на солюбилизацию труднорастворимых фосфатов, но и на продуктивность различных сельскохозяйственных культур. Так, изучено влияние шести изолятов фосфатрастворяющих грибов: двух штаммов *Aspergillus awamori* и четырех штаммов *Penicillium citrinum*, выделенных из ризосферы различных сельскохозяйственных культур, на рост и обсемененность нута (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2) в условиях вегетационных экспериментов [44]. Выявлено, что фосфатная солюбилизирующая активность микромицетов в жидкости варьировала в пределах 38–760 мкг/мл⁻¹ для трикальцийфосфата и 28–248 мкг/мл⁻¹ для фосфата породы Муссури. Кроме того, все изоляты исследуемых микромицетов продуцировали индолилуксусную кислоту (ИУК) в концентрации 2,5–9,8 мкг/мл⁻¹. В условиях вегетационных опытов показано, что при инокуляции штаммом *A. awamori* выявлен максимальный стимулирующий эффект на растения нута: его применение способствовало увеличению высоты побега на 7–12 %, почти трехкратному увеличению количества семян и двукратному увеличению массы семян по сравнению с контролем. Подобные результаты получены также при изучении трех эффективных фосфатсолюбилизирующих штаммов почвенных микромицетов, протестированных на *Pennisetum glaucum* в условиях вегетационных опытов с добавлением каменных фосфоритов горных пород [45]. Отмечено положительное влияние совместного применения фосфоритов горных пород и микромицетов, растворяющих фосфаты, на рост растений: большинство биометрических параметров возросли после инокуляции.

Китайские ученые выделили из фосфатсодержащих горных пород изоляты фосфатрастворяющих микромицетов, идентифицированных как *Penicillium expansum*,

Mucor ramosissimus и *Candida krisii* [46]. Экспериментально доказано, что в культуральной среде, инокулированной этими изолятами, присутствуют не только органические кислоты (лимонная, щавелевая и глюконовая), но и ферменты: кислая и щелочная фосфатазы, способствующие солюбилизации фосфатов горных пород. При этом выявлена сильная отрицательная корреляция ($r = -0,89$) между содержанием растворимого фосфора и значением pH культуральной среды. Эффективный изолят фосфатсолюбилизирующих грибов, идентифицированный как *Penicillium oxalicum*, выделен в Индии из ризосферной почвы отвалов фосфатных рудников [47]. Проведены лабораторные эксперименты по тестированию его эффективности для солюбилизации фосфорита горных пород, а также полевые опыты для выявления стимулирующего эффекта на рост пшеницы и кукурузы, выращенных в почве, обогащенной горной породой. Выявлено, что *P. oxalicum* эффективно растворяет горный фосфорит в жидкой среде, выделяя при этом большое количество доступного для растений фосфора. В условиях полевых экспериментов показано, что инокуляция *P. oxalicum* значительно увеличила рост и продуктивность двух сельскохозяйственных культур: пшеницы и кукурузы по сравнению с контролем. При этом отмечено, что содержание P в растениях и уровни доступных P и органического C значительно увеличились в почве с внесенной горной породой, инокулированной *P. oxalicum*. На основании проведенных экспериментов авторы сделали заключение о том, что *P. oxalicum* вместе с горным фосфоритом может заменить минеральное удобрение в щелочной почве и оказать помощь в повышении производства сельскохозяйственных культур.

Таким образом, фосфатмобилизующие микроорганизмы представлены большим разнообразием видов и распространены в ризосфере сельскохозяйственных культур различных почвенно-климатических условий.

Влияние биофосфора на минеральное питание растений. Способность почвенных микроорганизмов превращать труднорастворимые соединения фосфора в доступную форму является важной особенностью RGPB (бактерий, способствующих росту растений и повышению их продуктивности). Известно, что одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов оптимизации минерального питания растений является применение почвенных микроорганизмов, в частности обладающих способностью к трансформации труднорастворимых соединений фосфора. Данный агроприем – один из перспективных и экологических способов повышения фосфорного питания сельскохозяйственных растений [9, 15, 48–50]. Положительное воздействие фосфатмобилизующих микроорганизмов на питание растений отмечала в своих работах Р. Менкина [51], позже на эти особенности указывали и другие исследователи [15, 22, 52, 53].

В литературных источниках имеются сведения о том, что применение фосфатмобилизующих бактерий способствует значительному улучшению фосфорного питания растений, о чем свидетельствуют анализы на содержание этого химического элемента в их вегетативной массе. Улучшение минерального питания растений, в свою очередь, способствует увеличению урожайности инокулированных растений. Рассмотрим результаты исследований, посвященных изучению данного аспекта жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Так, при изучении фосфатмобилизующих бактерий, выделенных из ризосферы и ризопланы зерновых культур, Михайловская Н. А. и соавторы установили взаимосвязь их эффективности с содержанием подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых рыхло- и связно-супесчаных почвах [54]. В условиях полевых экспериментов показано, что применение фосфатмобилизующих бактерий целесообразно на почвах с низкой обеспеченностью подвижными фосфатами

(200 мг/кг) – достоверная прибавка урожайности зерна составила 3,0–3,3 ц/га для озимой тритикале и 4,3–4,7 ц/га для яровой пшеницы.

В условиях модельных и полевых опытов белорусские исследователи установили положительное влияние предпосевной обработки семян штаммом *Agrobacterium radiobacter* 2258СМФ (основа биопрепарата «Фитостимифос») на содержание доступного для растений фосфора в ризосфере овощных культур [55]. Выявлено, что применение *A. radiobacter* 2258СМФ для инокуляции семян способствует увеличению степени подвижности почвенных фосфатов в ризосфере редиса, моркови, огурцов и гороха (в среднем на 20 %), а также возрастанию в среднем на 32 % урожайности перечисленных культур по сравнению с контролем. Подобный эффект установлен также и при инокуляции семян бобовых культур (овощная фасоль и овощные бобы): в ризосфере растений увеличилось содержание легкодоступных соединений фосфора и численность микроорганизмов, трансформирующих фосфаты кальция. При этом также возросла урожайность семян фасоли и бобов – на 10,1–11,0 и 9,6–9,9 ц/га соответственно

Проведены исследования по выделению и применению фосфатмобилизующих бактерий в почвенно-климатических условиях Забайкалья [56]. Показана перспектива использования штамма *Bacillus megatherium phosphaticus*, выделенного из пахотных каштановых почв, в качестве биоактиватора удобрений из минеральных агроруд (цеолита и фосфоритной муки). Применение полученных биологически активных удобрений способствовало повышению содержания НРК в ризосфере кормовых культур (овес на зеленую массу) и их урожайности: в первый год на 18–20 %, во второй – на 35–40 %, в третий – на 24–29 % по сравнению с контролем (без внесения удобрений).

Украинские ученые выделили новые штаммы *Rhizobium radiobacter*, изучили их свойства и показали перспективность применения для улучшения фосфорного питания озимой пшеницы [57, 58]. Доказано, что изучаемые штаммы способны сохраняться на бактеризованных семенах пшеницы и приживаться в корневой зоне растений. При определении степени подвижности фосфатов в ризосфере озимой пшеницы установлено, что содержание P_2O_5 в ризосфере инокулированных растений ниже, чем в контрольном варианте. Показано, что новые штаммы *R. radiobacter* способствуют увеличению численности фосфатмобилизующих бактерий в корневой зоне озимой пшеницы на ранних этапах развития растений (фазы кущения и цветения). Результаты полевых экспериментов показали, что урожайность зерна озимой пшеницы под действием *R. radiobacter* 1333 составила 4,4 т/га, а *R. radiobacter* 5006 – 4,2 т/га против 3,6 т/га в контрольном варианте. Прирост урожайности от бактеризации семян составил 0,6–0,7 т/га (17–20 %) к контролю.

В отделе сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» проводят работы по селекции штаммов фосфатмобилизующих бактерий и созданию удобрительных препаратов на их основе [59, 60]. В процессе исследований из чернозема южного выделен и изучен эффективный штамм *Enterobacter nimipressuralis* 32-3. Установлено, что этот штамм является продуцентом фитогормонов, органических кислот и фермента (щелочной фосфатазы), способствующих превращению труднорастворимых фосфатов в соединения, усвояемые растениями. Применение биопрепарата на основе *E. nimipressuralis* 32-3 для предпосевной инокуляции семян зерновых культур (ярового ячменя и озимой пшеницы) не только повышает их продуктивность [61, 62], но и способствует увеличению содержания подвижных фосфатов в ризосфере озимой пшеницы [63].

В публикациях зарубежных авторов также отмечено положительное влияние фосфатрастворяющих бактерий на минеральное питание и продуктивность различных сельскохозяйственных культур: кукурузы [64], сои [65], пшеницы [66], ячменя [67],

вигны [68]. Имеются сведения о синергическом воздействии бактерий, трансформирующих труднорастворимые фосфаты и симбиотических азотфиксирующих бактерий на культурные растения [69]. Присутствие фосфатрастворяющих микроорганизмов в почве представляет собой основной путь для солюбилизации и высвобождения неорганических фосфатов в растворимые формы, которые могут быть непосредственно использованы растениями. Действительно, в механизмах солюбилизации Р может быть задействовано большое количество микроорганизмов, способных фиксировать атмосферный азот. Многие исследователи подчеркивают влияние микроорганизмов, растворяющих соединения фосфора, на симбиотическую фиксацию азота и использование наиболее эффективных штаммов для снижения деградации земель и улучшения устойчивого сельского хозяйства.

Так, определены синергические эффекты азотфиксирующих (*Mesorhizobium*) и фосфатрастворяющих ризобактерий (*Pseudomonas* и *Bacillus sp.*) на рост, урожайность, содержание белка в зерне и усвоение питательных веществ растениями нута в песчано-глинисто-суглинистой почве. Выявлено, что поглощение Р растениями было самым высоким (в 2,14 раза выше контроля) при совместной инокуляции (*M. ciceri* RC4 + *Azotobacter chroococcum* A10 + *Bacillus* PSB 9). Наиболее высокая концентрация N, а также его поглощение (на 81 % и 16 % выше контроля, соответственно) отмечена при тройной инокуляции (*M. ciceri* RC4 + *Azotobacter chroococcum* A10 + *Pseudomonas* PSB5) [70]. Отмечено также повышение урожайности семян нута благодаря инокуляции *M. ciceri* RC3 + *A. chroococcum* A4 + *Bacillus* PSB10 – она увеличилась на 250 % против контроля. При этом содержание белка в зерне инокулированных растений нута варьировало в пределах 180 (*Bacillus* PSB1) и 309 нг/г⁻¹ (*M. ciceri* RC3 + *A. chroococcum* A4 + *Bacillus* PSB10) [71]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что совместная инокуляция ризосферными бактериями способствует росту растений и повышению урожайности зерна, а также увеличению концентрации и поглощения N и Р нутом, выращенным в полевых условиях. Подобные результаты получены при изучении влияния совместной инокуляции клубеньковыми (*Sinorhizobium meliloti* B399) и фосфатрастворяющими (*Bacillus sp.* M7c) бактериями на рост и развитие люцерны. Выявлено значительное увеличение сухой массы корней и побегов, длины и площади поверхности корней, количества клубеньков и симбиотических свойств растений при синергическом воздействии ризобактерий [72].

В условиях вегетационных опытов исследовано влияние штамма ризобий Thal8 и штамма фосфатрастворяющих бактерий 54RB в совместной и моноинокуляции, с P₂O₅ и без него на пшеницу при выращивании в природной нестерилизованной супесчаной почве с дефицитом фосфора. Показано, что совместная и моноинокуляция с P₂O₅ значительно увеличила массу корней и побегов, высоту растений, длину колоса, урожайность зерна, содержание Р в семенах, содержание белка и сахара в листьях у тестируемой культуры. Полученные результаты свидетельствуют о том, что совместная и моноинокуляция вместе с внесением фосфорного удобрения повышают урожайность зерна пшеницы на 30–40 % по сравнению с применением только одного удобрения. Кроме того, выявлено, что двойная инокуляция (Thal8+54RB) без внесения фосфорного удобрения способствовала повышению зерновой продуктивности пшеницы до 20 % по сравнению с применением одних удобрений Р [73]. Также проведены исследования, в которых изучено влияние фосфатрастворяющих бактерий и арбускулярных микоризных (АМ) грибов (а также их взаимодействие) на урожайность пшеницы, изменения в биологической популяции микроорганизмов и фракциях неорганического фосфора в почве [74]. Эксперименты включали четыре типа почв (глина, глинистый суглинок, суглинок и супесь). Показано, что наибольшее количество сухого вещества в побегах пшеницы выявлено при её выращивании в

глинисто-суглинистой почве. Кроме того, совместное применение АМ грибов и фосфатрастворяющих бактерий способствовало увеличению не только выхода сухого вещества всходов, но и количества продуктивных колосьев и зерновой продуктивности пшеницы – на 52 %, 19 % и 26 % соответственно по сравнению с контролем.

Таким образом, для улучшения минерального и, в частности фосфорного питания растений, в технологиях выращивания большинства сельскохозяйственных культур целесообразно применять фосфатмобилизующие микроорганизмы, трансформирующие недоступные для растений фосфаты в усвояемые формы.

Микробные препараты на основе фосфатмобилизующих микроорганизмов.

Идея применения в сельском хозяйстве микроорганизмов, способных трансформировать труднорастворимые соединения фосфора, давно привлекает исследователей и специалистов-практиков. В начале 60-х годов прошлого столетия в Советском Союзе разработан биопрепарат «Фосфобактерин» на основе бактерии *Bacillus megaterium var. phosphaticum*, обладающей способностью активно мобилизовать фосфор из органических фосфатов. Предпосевная инокуляция семян «Фосфобактерином» позитивно влияла на рост и развитие растений, повышала их урожайность. Однако производство этого препарата было приостановлено [3].

В настоящее время во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной микробиологии на основе природных штаммов микроорганизмов разработана линейка микробных препаратов, что обеспечивает их высокую экологическую безопасность. В частности, на основе фосфатмобилизующих бактерий создан биопрепарат «Агрофил», а также комплексный биопрепарат «Биовайс» [12]. Основой биопрепарата «Агрофил» является эффективный штамм почвенной бактерии *Agrobacterim*, способный растворять труднодоступные для растений минеральные соединения почвы (в первую очередь фосфаты), а также продуцировать антибиотики, ростстимулирующие вещества (аналоги ауксинов и гетероауксинов) и витамины. Многочисленные эксперименты показали, что «Агрофил» является эффективным средством повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур: овощных (томат, перец, огурец, тыква, кабачок), столовых корнеплодов (редис, морковь, свекла), капусты (белокочанная, цветная, пекинская), зеленных (щавель, спаржа, ревень) и плодово-ягодных (земляника, смородина, крыжовник, вишня, слива, виноград) культур. Применение «Агрофила» обеспечивает повышение урожайности растений в пределах 15–40 %, а также ускоряет созревание продукции на 7–10 дней и увеличивает содержание в ней витаминов и каротина.

Биопрепарат комплексного действия «Биовайс» создан на основе консорциума высокоэффективных штаммов почвенных ассоциативных бактерий: *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus mucilaginous siliceous*, *Bacillus megatherium subtilis phosphaticum*. «Биовайс» рекомендован для предпосевной или предпосадочной обработки растений, а также для их опрыскивания и полива в период вегетации. Установлено, что применение этого биопрепарата не только повышает урожайность зерновых, овощных и плодово-ягодных культур, но и увеличивает доступность элементов питания из органоминеральных комплексов почвы, что способствует оптимизации минерального питания растений и снижению дозы внесения минеральных удобрений на 25–50 %. Кроме того, «Биовайс» повышает устойчивость растений к полеганию и засухе, а также улучшает качество продукции: увеличивает количество каротиноидов, углеводов, аскорбиновой кислоты и белка, снижает содержание нитратов.

Сотрудники отдела общей и почвенной микробиологии Института микробиологии и вирусологии имени Д. К. Заболотного разработали научные основы использования биосинтетического потенциала почвенных микроорганизмов и создали на их основе биопрепараты фитостимулирующего, антипаразитарного и

адаптогенного действия [75, 76]. Основой микробных препаратов являются живые культуры микроорганизмов и их метаболиты, стимулирующие рост и развитие растений, а также улучшающие минеральное питание и повышающие резистентность к биотическим и абиотическим стрессам. Одним из важных аспектов использования биопрепаратов является снижение применения или даже полный отказ от пестицидов, загрязняющих окружающую среду и продукты питания [77]. Обозначенные характеристики свойственны многим микробным препаратам, в том числе и созданным на основе фосфатмобилизующих микроорганизмов: «Экофосфорину», «Фосфобактерину», «Эковиталу».

Особенность комплексного биопрепарата «Эковитал» состоит в том, что в его состав входят четыре высокоэффективных штамма микроорганизмов, подобранных по оптимальному соотношению синтезируемых фитогормонов и активности ферментов нитрогеназного и фосфатазного комплексов [78]. Биопрепарат «Эковитал» содержит живые клетки трех штаммов высокоэффективных и конкурентоспособных азотфиксирующих клубеньковых бактерий (ризобий), специфических к определенному виду бобовых растений и один штамм фосфатмобилизующих бактерий *Bacillus megatherium*. Титр живых клеток симбиотических азотфиксирующих ризобий и фосфатмобилизующих бацилл в препарате составляет не менее $3-5 \times 10^9$ клеток/мл. «Эковитал» применяют для комплексной предпосевной инокуляции семян бобовых культур (сои, гороха, нута, люцерны, люпина, фасоли, донника, клевера, вики, чечевицы и др.) в условиях органического и интегрированного земледелия. Биопрепарат «Эковитал» – современный высокоэффективный экологически безопасный инокулянт, совмещающий азотфиксирующие, фосфатмобилизующие, ростстимулирующие и иммунопротекторные свойства микроорганизмов, обладает положительным последствием на микробиоту и плодородие почвы, а также повышает урожайность растений на 17–30 % и качество продукции [79].

Состав препарата «Экофосфорин» включает четыре штамма ростстимулирующих, азотфиксирующих свободноживущих и ассоциативных почвенных бактерий (*Azotobacter chroococcum*, *A. vinelandii*, *Agrobacterium radiobacter*) и один штамм фосфатмобилизующих почвенных бактерий *Bacillus megatherium* [80]. Бактерии, составляющие основу биопрепарата, способны фиксировать атмосферный азот и мобилизовать нерастворимые органические фосфаты, улучшать минеральное питание растений, стимулировать их рост и развитие благодаря обеспечению биологически активными веществами (витаминами, фитогормонами, жирными и органическими кислотами, аминокислотами, полисахаридами). «Экофосфорин» обладает последствием, проявляющемся в повышении плодородия почв, обогащении их азотом и фосфором, повышении структурированности, улучшении агрофизических, агрохимических и биологических свойств, формировании комплекса полезной микробиоты в ризосфере растений. Биопрепарат «Экофосфорин» применяют для инокуляции семян и обработки вегетирующих растений злаковых, технических и овощных культур; он обеспечивает повышение полевой всхожести и энергии прорастания семян на 10–20 %, способствует формированию развитой корневой системы и активной микробно-растительной ассоциации; интенсифицирует процесс фотосинтеза, при этом происходит повышение резистентности растений к фитопатогенам и стрессовым факторам, а также повышение урожайности растений на 15–35 % и улучшение качества продукции. Титр живых клеток ростстимулирующих азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий в препарате составляет не менее 5–7 млрд клеток/л.

«Фосфобактерин» («Биофосфорин») – высокоэффективный биопрепарат на основе ростстимулирующих фосфатмобилизующих почвенных бактерий, рекомендован для предпосевной инокуляции семян и обработки вегетирующих

растений злаковых, технических и овощных культур. В состав биопрепарата входят ростстимулирующие фосфатмобилизующие почвенные бактерии, принадлежащие к виду *Bacillus megatherium* и сбалансированный комплекс природных физиологически активных продуктов метаболизма бацилл: витамины группы В, фитогормоны (ауксины, цитокинины, гиббереллины), ферменты, органические кислоты. Титр живых клеток ростстимулирующих фосфатмобилизующих бактерий в препарате составляет не менее $0,5 \times 10^9$ клеток/мл. Эффективность биопрепарата «Фосфобактерин» («Биофосфорин») обеспечивает способность бактерий, входящих в его состав, минерализовать органические фосфаты, улучшать минеральное питание растений, повышать на 10–15 % всхожесть семян и скорость их прорастания, адаптировать проростки к неблагоприятным условиям окружающей среды и стимулировать их продуктивность благодаря веществам фитогормонального действия, а также повышать устойчивость растений к фитопатогенам и стрессам, увеличивать их урожайность и качество продукции. Применение данного биопрепарата в растениеводстве заменяет 50–60 кг/га минеральных фосфорных удобрений. Кроме того, содержание активного подвижного фосфора в ризосфере растений возрастает на 20–30 %, что способствует повышению продуктивности злаковых культур на 8–12 % с одновременным увеличением содержания протеина в зерне.

Важную работу по созданию биопрепаратов на основе бактерий, активно растворяющих минеральные фосфаты, провели ученые Института сельскохозяйственной микробиологии Национальной академии аграрных наук Украины: созданы два биопрепарата – «Альбобактерин» и «Полимиксобактерин» [81, 82]. «Альбобактерин» изготавливают на основе неспоровой палочки *Achromobacter album* 1122, «Полимиксобактерин» – на основе споровой палочки *Bacillus polymyxa* КВ. Оба штамма продуцируют органические кислоты (молочную, уксусную), стимуляторы роста (индолилуксусную и гибберелловую кислоты), витамины (цианокобаламин, тиамин). Применение этих препаратов для бактеризации семян сахарной свеклы способствует повышению их всхожести, стимуляции фосфорного питания инокулированных растений, увеличению урожайности на 6–40 % и на 3–10 ц/га выхода сахара. Кроме того, экспериментально установлено, что применение «Альбобактерина» и «Полимиксобактерина» в технологиях выращивания сахарной свеклы позволяет уменьшить количество вносимых минеральных фосфорных удобрений – до 30 кг/га. В дальнейшем исследователи этого института разработали также биопрепарат «Агробактерин» на основе выделенной фосфатмобилизующей бактерии *Agrobacterium radiobacter* 1333 [83], обладающий комплексом полезных свойств: он не только улучшает питание, рост и продуктивность растений, но и снижает пораженность люпина корневыми гнилями и фузариозным увяданием. Показано, что «Агробактерин» способствует улучшению фосфорного питания кукурузы в условиях полевых опытов на черноземе выщелоченном [84, 85].

Сотрудники отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма» на основе фосфатмобилизующей бактерии *L. nimipressuralis* ССМ 32-3 создали биопрепарат «Фосфостим» для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности [86].

Ученые Института микробиологии НАН Беларуси на основе фосфатмобилизующих бактерий создали препарат «Фитостимофос», обладающий не только фосфатмобилизующим действием, но также ростстимулирующим эффектом и рекомендованным для повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур [87]. В последние годы белорусские исследователи разработали микробные препараты «АгроМик» и «Бактопин» [88]. «АгроМик» – комплексный биопрепарат, созданный на основе ассоциативных азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий *Agrobacterium sp.17*, *Pseudomonas sp. 10* и АМ грибов рода *Glomus*. Он

предназначен для предпосевной обработки семян и вегетирующих растений зерновых (тритикале), цветочных, декоративных хвойных и древесно-кустарниковых культур. Установлено, что применение биопрепарата «АгроМик» способствует повышению зерновой продуктивности тритикале на 7–24 %, увеличению высоты растений (сеянцев пузыреплодника – на 206 %, бархатцев – на 170 %). Кроме того, «АгроМик» благоприятствует более раннему наступлению фаз бутонизации и цветения у цветочных культур, а также улучшению продуктивности их цветения и стимуляции формирования корневой системы – в 15 раз и на 160 % соответственно. «Бактопин» – комплексный биопрепарат, созданный на основе азотфиксирующих (*Rhizobium aquatilis* БИМ В-704Д) и фосфатмобилизующих (*Pseudomonas putida* БИМ В-702Д) бактерий, а также АМ грибов рода *Glomus*. Биопрепарат «Бактопин» предназначен для предпосевной обработки семян и вегетирующих растений деревьев хвойных пород, а также цветочных и декоративных культур: хвойных и древесно-кустарниковых. Установлено, что применение данного микробного препарата способствует повышению приживаемости сеянцев сосны и ели в 2,0 и 1,3 раза соответственно, приросту бархатцев на 97–106 %, а у цветочных культур – более раннему началу фаз бутонизации и цветения, повышению продуктивности их цветения.

Таким образом, одним из перспективных приемов, позволяющим разрешить вопрос оптимизации фосфорного питания сельскохозяйственных культур путем мобилизации почвенных и остаточных фосфатов удобрений, является применение биопрепаратов на основе микроорганизмов, способных трансформировать труднорастворимые соединения фосфора в усвояемые для растений формы.

Литература

1. Завалин А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
2. Мікробіологічні аспекти оптимізації удобрення сільськогосподарських культур: Теорія і практика: монографія // За ред. Волкогон В. В. Київ: Аграрна наука, 2007. 144 с.
3. Патица В. П., Тихонович І. А., Філіп'єв І. Д., Гамаюнова В. В., Андрусенко І. І. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. Київ: Урожай, 1993. 176 с.
4. Antoun H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture // Procedia Engineering. 2012. Vol. 46. P. 62–67. DOI:10.1016/j.proeng.2012.09.446.
5. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1(4). P. 23–28.
6. Walpola B. C., Yoon M.-H. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review // African Journal of Microbiology Research. 2012. Vol. 6(37). P. 6600–6605. DOI: 10.5897/AJMR12.889.
7. Khan A. A., Jilani G., Akhtar M. S., Saqlan S. M. N., Rasheedet M. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanism and their role in crop production // Journal of Agricultural Biology Sciences. 2009. Vol. 1. P. 48–58.
8. Тихонович І. А., Проворов Н. А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
9. Satyaprakash M., Nikitha T., Reddy E. U. B., Sadhana B., Satya Vani S. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition: a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6(4). P. 2133–2144. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.251.
10. Фосфатмобилизующие бактерии в агроценозах Крыма: монография // Под ред. Чайковской Л. А. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 156 с.
11. Kalayu G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers // International Journal of Agronomy. Vol. 2019. Art. No. 4917256. DOI: 10.1155/2019/4917256.
12. Завалин А. А., Кожемяков А. П. Новые технологии и применение биопрепаратов комплексного действия. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010. 64 с.
13. Волкогон В. В. Біологічна меліорація ґрунтів. Традиційне і нове: практика // Сільськогосподарська мікробіологія: міжвідомчий тематичний науковий збірник. 2011. № 13. С. 7–22.
14. Кожемяков А. П., Лактионов Ю. В., Попова Т. А., Орлова А. Г., Кокорина А. Л., Вайшля О. Б., Агафонов Е. В., Гужвин С. А., Чураков А. А., Яковлева М. Т. Агротехнологические

основы создания усовершенствованных форм микробных препаратов для земледелия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 3. С. 369–376. DOI: 10.15389/agrobiol.2015.3.369rus.

15. Муромцев Г. С., Маршунова Г. Н., Павлова В. Ф., Зольникова Н. В. Роль почвенных микроорганизмов в фосфорном питании растений // Успехи микробиологии. 1985. Т. 20. С. 174–198.

16. Zaidi A., Khan M. S., Ahemad M., Oves M. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria // Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica. 2009. Vol. 56(3). P. 263–284. DOI: 10.1556/AMicr.56.2009.3.6.

17. Ahmed N., Shahab S. Phosphate solubilization: their mechanism genetics and application // The Internet Journal of Microbiology. 2011. Vol. 9(1). P. 4408–4412. DOI:10.5580/2327.

18. Jones D. L., Oburger E. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms // In Book: Phosphorus in action. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. P. 169–198. DOI: 10.1007/978-3-642-15271-9_7.

19. Rodriguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // Biotechnology Advances. 1999. Vol. 17(4-5). P. 319–339.

20. Yadav B. K., Verma V. Phosphate solubilization and mobilization in soil through microorganisms under arid ecosystems // The Functioning of Ecosystems. 2012. Vol. 6. P. 94–108. DOI: 10.5772/35917.

21. Selvi K. B., Paul J. J. A., Vijaya V., Saraswathi K. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques // Biochemistry and Molecular Biology Journal. 2017. Vol. 3. P. 1. DOI: 10.21767/2471-8084.100029.

22. Kumar A., Kumar A., Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7 (5). P. 1344–1347. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.705.161.

23. Pradhan N., Sukla L. B. Solubilization of inorganic phosphate by fungi isolated from agriculture soil // African Journal of Biotechnology. 2005. Vol. 5. P. 850–854.

24. 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.

25. Stevenson F. J., Cole M. A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley and Sons, 1999. 448 p.

26. Aseri G. K., Jain N., Tarafdar J. C. Hydrolysis of organic phosphate forms by phosphatases and phytase producing fungi of arid and semi-arid soils of India // American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science. 2009. Vol. 5. P. 564–570.

27. Yu X., Liu X., Zhu T.H., Liu G. H., Mao C. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization // Biol. Fertil. Soils. 2011. Vol. 7(4). P. 437–446. DOI: 10.1007/s00374-011-0548-2.

28. Taurian T., Anzuay M. S., Angelini J. G., Tonelli M. L., Luduena L., Pena D., Inanez F., Fabra A. Phosphate-solubilizing peanut associated bacteria: screening for plant growth-promoting activities // Plant and Soil. Vol. 329 (1). P. 421–431. DOI: 10.1007/s11104-009-0168-x.

29. Song O. R., Lee S. J., Lee Y. S., Lee S. C., Kim K. K., Choi Y. L. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacia* DA 23 isolated from cultivated soil // Brazilian Journal of Microbiology. 2008. Vol. 39. P. 151–156. DOI: 10.1590/S1517-83822008000100030.

30. Sharma K., Dak G., Agrawal A., Bhatnagar M., Sharma R. Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* seeds and seedling growth // Journal of Herbal Medicine and Toxicology. 2007. Vol. 1. P. 61–63.

31. Prasanna A., Deepa V., Balakrishna M. P., Deecaraman M., Sridhar R., Dhandapani P. Insoluble phosphate solubilization by bacterial strains isolated from rice rhizosphere soils from Southern India // International journal of soil science. 2011. Vol. 6(2). P. 134–141. DOI: 10.3923/ijss.2011.134.141.

32. Islam M. T., Deora A., Hashidoko Y., Rahman A., Ito T., Tahara S. Isolation and identification of potential phosphate solubilizing bacteria from the rhizoplane of *Oryza sativa* L. cv. BR29 of Bangladesh // Zeitschrift für Naturforschung. 2007. Vol. 62 p. P. 103–110. DOI: 10.1515/znc-2007-1-218.

33. Gulati A., Sharma N., Vyas P., Sood S., Rahi P., Pathania V., Prasad R. Organic acid production and plant growth promotion as a function of phosphate solubilization by *Acinetobacter rhizosphaerae* strain BIHB 723 isolated from the cold deserts of the trans-Himalayas // Archives of Microbiology. 2010. Vol. 192(11). P. 975–983. DOI:10.1007/s00203-010-0615-3.

34. Chen Z., Ma S., Liu L. Studies on phosphorus solubilizing activity of a strain of phosphobacteria isolated from chestnut type soil in China // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99(14). P. 6702–6707. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.03.064.

35. Chen Y. P., Rekha P. D., Arun A. B., Shen F. T., Lai W. A., Young C. C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities // Applied Soil Ecology. 2006. Vol. 34(1). P. 33–41. DOI: 10.1016/j.apsoil.2005.12.002.

36. Баранская М. И., Чайковская Л. А. Первичная оценка нововыделенных штаммов фосфатмобилизирующих бактерий // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 28–37. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-28-37.
37. Chung H., Park M., Madhaiyan M., Seshadri S., Song J., Cho H., Sa T. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea // Soil Biology and Biochemistry. 2005. Vol. 37(10). P.1970–1974. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.02.025.
38. Abril A., Zurdo-Pineiro J. L., Peis A., Rivas R., Velazquez E. Solubilization of phosphate by a strain of *Rhizobium leguminosarium* bv trifolii isolated from Phaseolus vulgaris in El Chaco Arido soil (Argentina) // First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization: Developments in Plant and Soil Sciences. Editors E. Velázquez, C. Rodríguez-Barrueco. 2007. Vol. 102. P. 135–138. DOI: 10.1007/978-1-4020-5765-6_19.
39. Alikhani H. A., Saleh-Rastin N., Antoun H. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils // Plant and Soil. 2007. P.135–138. DOI: 10.1007/978-1-4020-5765-6_4.
40. Son H.-J., Park G.-T., Cha M.-S., Heo M.-S. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere // Bioresource Technology. 2006. Vol. 97(2). P. 204–210. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.02.021.
41. Hamdali H., Hafidi M., Virolle M. J., Ouhdouch Y. Rock phosphate solubilizing Actinomycetes: Screening for plant growth promoting activities // World Journal Microbiology and Biotechnology. 2008. Vol. 24(11). P. 2565–2575. DOI: 10.1007/s11274-008-9817-0.
42. Khan M. S., Zaidi A., Ahemad M., Oves M., Wani P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi-current perspective // Archives of Agronomy and Soil Science. 2010. Vol. 56(1). P. 73–98. DOI:10.1080/03650340902806469.
43. Xiao C., Chi R., Li X., Xia M., Xia Z. Biosolubilization of rock phosphate by three stress-tolerant fungal strains // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2011. Vol. 165. P. 719–727. DOI: 10.1007/s12010-011-9290-3.
44. Mittal V., Singh O., Nayyar H., Kaur J., Tewari R. Stimulatory effect of phosphate solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2) // Soil Biology and Biochemistry. 2008. Vol. 40(3). P. 718–727. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.10.008.
45. Sane S. A., Mehta S. K. Isolation and evaluation of rock phosphate solubilizing fungi as potential biofertilizer // Journal of Fertilizers and Pesticides. 2015. Vol. 6. P. 156.
46. Xiao C., Chi R., He H., Qiu G., Wang D., Zhang W. Isolation of phosphate solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2009. Vol. 159 (2). Vol. 159. P. 330–342. DOI: 10.1007/s12010-009-8590-3.
47. Singh H., Reddy M. S. Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils // European Journal of Soil Biology. 2011. Vol. 47. P. 30–34. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.10.005.
48. Richardson A. E., Simpson R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability // Plant Physiology. 2011. Vol. 156. No. 3. P. 989–996. DOI: 10.1104/pp.111.175448.
49. 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.
50. Кудоярова Г. Р., Высоцкая Л. Б., Архипова Т. Н., Кузьмина Л. Ю., Галимзянова Н. Ф., Сидорова Л. В., Габбасова И. М., Мелентьев А. И. Влияние ауксинпродуцирующих и фосфатмобилизирующих бактерий на подвижность почвенного фосфора, скорость роста растений пшеницы и усвоение ими фосфора // Агрохимия. 2016. № 5. С. 28–34.
51. Менкина Р. А. Роль *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* в питании растений // Труды Института микробиологии АН СССР. 1961. Т. 11. С. 238–245.
52. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2. P. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
53. Thakur D., Kaushal R., Shyam V. Phosphate solubilising microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plants – a review // Agricultural Reviews. 2014. Vol. 35 (3). P. 159–171. DOI: 10.5958/0976-0741.2014.00903.9.
54. Михайловская Н. А., Миканова О. Н., Барашенко Т. Б., Тарасюк Е. Г., Дюсова С. В. Свойства фосфат-мобилизирующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2(47). С. 120–129.
55. Босак В. Н., Сафронова Г. В., Алещенкова З. М., Минюк О. Н. Способ оптимизации фосфатного режима почвы при возделывании сельскохозяйственных культур // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Сборник научных трудов. 2016. Т. 8. С. 148–161.

56. Меркушева М. Г., Убугунов Л. Л., Болонева Л. Н., Нимаева М.-Б. М., Мангатаев Ц. Д., Бадмаев А. Б. Фосфатмобилизующие микроорганизмы как биологические активаторы удобрений из агрурод // Плодородие. 2008. №1. С. 23–24.
57. Трепач А. О., Токмакова Л. М., Ларченко І. В. Ефективність бактеризації пшениці озимої фосфатмобілізуючими бактеріями // Агрохімія і ґрунтознавство. Спецвипуск до VIII з'їзду УТГА. 2010. Кн. 3. С. 340–344.
58. Трепач А. О., Токмакова Л. М. Роль бактерії *Rhizobium radiobacter* у підвищенні фосфорного живлення пшениці озимої // VII наукова конференція молодих вчених «Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві». Чернігів: ЦНТЕІ, 2010. С. 43–45.
59. Чайковская Л. А. Научное обоснование биологической мобилизации фосфора в агроэкосистемах южной Степи Украины. Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. Киев: Национальный аграрный университет, 2004. 37 с.
60. Chaikovskaya L. A., Varanskaya M. I. The mechanism of action of rhizobacteria *Enterobacter nimipressuralis* 32-3 on the mineral nutrition and productivity of soybean // Annual Research & Review in Biology. 2017. Vol. 14. Iss. 5. DOI: 10.9734/ARRB/2017/33934.
61. Баранская М. И. Эффективность биопрепаратов фосфатмобилизующих бактерий при выращивании ярового ячменя в условиях южной Степи Украины. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Чернигов: Институт сельскохозяйственной микробиологии УААН, 2010. 20 с.
62. Ключенко В. В. Фосфатмобилизующие бактерии в агроценозах пшеницы озимой южной Степи Украины. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Умань: Уманский национальный университет садоводства, 2012. 22 с.
63. Чайковська Л. О., Ключенко В. В., Овсієнко О. Л. Поживний режим чорнозему південного за впливу мікробних препаратів та мінеральних добрив // Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи). 2012. Т. 4. Вип. 3. С. 344–347.
64. Nameeda B., Harini G., Rupela O.P., Wani S.P., Reddy G. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna // Microbiological Research. 2008. Vol. 163(2). P. 234–242. DOI:10.1016/j.micres.2006.05.009.
65. Fernandez L. A., Zalba P., Gomez M.A., Sagarido M. A. Phosphate solubilization activity of bacterial strains in soil and their effect on soybean growth under greenhouse conditions // Biology and Fertility of Soils. 2007. Vol. 43(6). P. 805–809. DOI: 10.1007/s00374-007-0172-3.
66. Afzal A., Ashraf M., Asad S. A., Farooq M. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area // International Journal of Agriculture and Biology. 2005. Vol. 7(2). P.1560–8530.
67. Mehrvarz S., Chaichi M. R., Alikhani H. A. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.) // American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 2008. Vol. 3. P. 822–828.
68. Vikram A., Hamzehzarghani H. Effect of phosphate solubilizing bacteria on nodulation and growth parameters of green gram (*Vigna radiate* L. Wilczek) // Research Journal of Microbiology. 2007. Vol. 3(2). P. 62–72. DOI: 10.3923/jm.2008.62.72.
69. Hajjam Y., Cherkaoui S. The influence of phosphate solubilizing microorganisms on symbiotic nitrogen fixation: perspectives for sustainable agriculture // Journal of Materials and Environmental Sciences. 2017. Vol. 8. P. 801–808.
70. Wani P., Khan M., Zaidi A. Synergistic effects of the inoculation with nitrogen fixing and phosphate solubilizing rhizobacteria on the performance of field grown chickpea // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2007. Vol. 170. P. 283–287. DOI: 10.1002/JPLN.200620602.
71. Wani P., Khan M., Zaidi A. Co-inoculation of nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria to promote growth, yield and nutrient uptake in chickpea // Acta Agronomica Hungarica 2007. Vol. 55. P. 315–323. DOI:10.1556/AAgr.55.2007.3.7.
72. Guiñazú L. B., Andrés J. A., MFDel P., Pistorio M., Rosas S. B. Response of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to single and mixed inoculation with phosphate-solubilizing bacteria and *Sinorhizobium meliloti* // Biology and Fertility of Soils. 2009. Vol. 46(2). P. 185–190. DOI: 10.1007/s00374-009-0408-5.
73. Afzal A., Bano A. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) // International Journal of Agriculture and Biology. 2008. Vol. 10(1). P. 85–88.
74. Yousefi A., Khavazi K., Moezi A., Rejali F., Nadian H. Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth // World Applied Sciences Journal. 2011. Vol. 15. P. 1310–1318.
75. Иутинская Г. А. Биотехнологический потенциал почвенных бактерий – основы микробных препаратов для растениеводства // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Сборник научных трудов. 2013. Т. 5. С. 235–244.

76. Іутинська Г. О., Білявська Л. О., Титова Л. В., Леонова Н. О., Ямборко Н. А., Петрук Т. В., Вознюк С. В. Мікробні препарати для рослинництва. Методичні рекомендації. Київ: ІМВ НАНУ, 2017. 83 с.
77. Биорегуляция микробно-растительных систем // Под ред. Иутинской Г. А., Пономаренко С. П. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.
78. Патент України на винахід №101388. Комплексний мікробний препарат Ековітал для інокуляції насіння бобових культур // Автори: Титова Л. В., Леонова Н. О., Бровко І. С., Іутинська Г. О. Публ. 25.03.2013. Бюл. № 6.
79. Вознюк С. В., Титова Л. В., Ляска С. І., Іутинська Г. О. Вплив бактеріального препарату Ековітал у комплексі з сучасними фунгіцидами на ризосферний мікробіоценоз, стійкість до грибних патогенів і продуктивність сої // Мікробіологічний журнал. 2015. № 77(4). С. 8–14.
80. Патент України на винахід № 105276. Комплексний бактеріальний препарат Екофосфорин для обробки культурних рослин // Автори: Титова Л. В., Іутинська Г. О., Бровко І. С. Публ. 25.04.2014. Бюл. № 8.
81. Токмакова Л. Н. Штаммы *Bacillus polymyxa* и *Achromobacter album* – основа для создания бактеріальних препаратів // Мікробіологічний журнал. 1997. Т. 59. № 4. С.131–138.
82. Токмакова Л. М. Мікробні препарати для поліпшення фосфорного живлення, підвищення урожайності та цукристості коренеплодів цукрових буряків // Сільськогосподарська мікробіологія: Міжвідомчий тематичний науковий збірник. 2006. Вип. № 4. С. 126–136.
83. Близнюк Н. М., Токмакова Л. М., Лепеха О. П. Вплив агробактерину на ураженість кореневими гнилями і фузаріозним в'яненням рослин люпину жовтого, урожай та якість продукції// Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації. Збірник наукових праць. 2004. С. 5–9.
84. Токмакова Л. М., Трепач А. О., Лепеха О. П. Вплив фосфатмобілізуювальних бактерій на фосфорне живлення пшениці озимої // Агрохімія і ґрунтознавство. Спецвипуск до VIII з'їзду УТГА. 2010. Кн. 3. С. 339–340.
85. Токмакова Л. М. Лабораторія біологічного фосфору. Результати досліджень // Сільськогосподарська мікробіологія: здобутки та перспективи. Збірник наукових праць (до 50-річчя від дня заснування ІСГМ НААН). 2011. С. 31–35.
86. Патент РФ № 2676926. «Фосфатмобілізующий 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. 15.
87. Суховицкая Л. А. Фосфатмобілізующие микроорганизмы и биофосфор в практике сельского хозяйства Беларуси // Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації. Збірник наукових праць. 2004. С. 135–140.
88. Алещенкова З. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений // Наука и инновации. 2015. № 8(150). С. 66–67.

References

1. Zavalin A. A. Bio-preparations, fertilizers and harvest. Moscow: All-Russian scientific-research institute of agrochemistry named by D.N. Pryanishnikov Publ., 2005. 302 p.
2. Microbiological aspects of crop fertilizer optimization: theory and practice: monograph // Ed. by Volkogon V. V. Kiev: Agrarna nauka, 2007. 144 p.
3. Patyka V. P., Tykhonovych I. A., Filipyev I. D., Gamayunova V. V., Andrusenko I. I. Microorganisms and alternative agriculture. Kiev: Urozhay, 1993. 176 p.
4. Antoun H. Beneficial microorganisms for the sustainable use of phosphates in agriculture // Procedia Engineering. 2012. Vol. 46. P. 62–67. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.446.
5. Jain P., Khichi D. S. Phosphate solubilizing microorganism (PSM): an ecofriendly biofertilizer and pollution manager // Journal of Dynamics in Agricultural Research. 2014. Vol. 1(4). P. 23–28.
6. Walpolo B. C., Yoon M.-H. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review // African Journal of Microbiology Research. 2012. Vol. 6(37). P. 6600–6605. DOI: 10.5897/AJMR12.889.
7. Khan A. A., Jilani G., Akhtar M. S. Saqlan S. M. N., Rasheedet M. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production // Journal of Agricultural Biology Sciences. 2009. Vol. 1. P. 48–58.
8. Tikhonovich I. A., Provorov N. A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2011. Vol. 3. P. 3–9.

9. Satyaprakash M., Nikitha T., Reddy E. U. B., Sadhana B., Satya Vani S. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition: a review // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6(4). P. 2133–2144. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.251.
10. Phosphate-mobilizing bacteria in the agrocenosis of Crimea: monograph // Ed. by Chaikovskaya L. A. Simferopol: Publishing house “ARIAL”, 2018. 156 p.
11. Kalayu G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers // International Journal of Agronomy. Vol. 2019. Art. No. 4917256. DOI: 10.1155/2019/4917256.
12. Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P. New technologies and complex biological products application. Saint Petersburg: HIMIZDAT, 2010. 64 p.
13. Volkogon V. V. Biological melioration of soils. Traditional and new // Agricultural Microbiology. 2011. Vol. 13. P. 7–22.
14. Kozhemyakov A. P., Laktionov Yu. V., Popova T. A., Orlova A. G., Kokorina A. L., Vaishlya O. B. Agafonov E.V., Guzhvin S.A., Churakov A.A., Yakovleva M.T. The scientific basis for the creation of new forms of microbial biochemicals // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2015. Vol. 50(3). P. 369–376. DOI: 10.15389/agrobiol.2015.3.369rus.
15. Muromtsev G. S., Marshunova G. N., Pavlova V. F., Zolnikova N. V. Role of soil microorganisms in phosphorus nutrition of plants // Uspekhi mikrobiologii. 1985. Vol. 20. P. 174–198.
16. Zaidi A., Khan M. S., Ahemad M., Oves M. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria // Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica. 2009. Vol. 56(3). P. 263–284. DOI: 10.1556/AMicr.56.2009.3.6.
17. Ahmed N., Shahab S. Phosphate solubilization: their mechanism genetics and application // The Internet Journal of Microbiology. 2011. Vol. 9(1). P. 4408–4412. DOI: 10.5580/2327.
18. Jones D. L., Oburger E. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms // In Book: Phosphorus in action. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. P. 169–198. DOI: 10.1007/978-3-642-15271-9_7.
19. Rodriguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // Biotechnology Advances. 1999. Vol. 17(4-5). P. 319–339.
20. Yadav B. K., Verma V. Phosphate solubilization and mobilization in soil through microorganisms under arid ecosystems // The Functioning of Ecosystems. 2012. Vol. 6. P. 94–108. DOI: 10.5772/35917.
21. Selvi K. B., Paul J. J. A., Vijaya V., Saraswathi K. Analyzing the efficacy of phosphate solubilizing microorganisms by enrichment culture techniques // Biochemistry and Molecular Biology Journal. 2017. Vol. 3. P. 1. DOI: 10.21767/2471-8084.100029.
22. Kumar A., Kumar A., Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7 (5). P. 1344–1347. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.705.161.
23. Pradhan N., Sukla L. B. Solubilization of inorganic phosphate by fungi isolated from agriculture soil // African Journal of Biotechnology. 2005. Vol. 5. P. 850–854.
24. 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.
25. Stevenson F. J., Cole M. A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley and Sons, 1999. 448 p.
26. Aseri G. K., Jain N., Tarafdar J. C. Hydrolysis of organic phosphate forms by phosphatases and phytase producing fungi of arid and semi-arid soils of India // American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science. 2009. Vol. 5. P. 564–570.
27. Yu X., Liu X., Zhu T. H., Liu G. H., Mao C. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization // Biol. Fertil. Soils. 2011. Vol. 7(4). P. 437–446. DOI: 10.1007/s00374-011-0548-2.
28. Taurian T., Anzuay M. S., Angelini J. G., Tonelli M. L., Luduena L., Pena D., Inanez F., Fabra A. Phosphate-solubilizing peanut associated bacteria: screening for plant growth-promoting activities // Plant and Soil. 2010. Vol. 329 (1). P. 421–431. DOI:10.1007/s11104-009-0168-x.
29. Song O. R., Lee S. J., Lee Y. S., Lee S. C., Kim K. K., Choi Y. L. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacia* DA 23 isolated from cultivated soil // Brazilian Journal of Microbiology. 2008. Vol. 39. P. 151–156. DOI: 10.1590/S1517-83822008000100030.
30. Sharma K., Dak G., Agrawal A., Bhatnagar M., Sharma R. Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* seeds and seedling growth // Journal of Herbal Medicine and Toxicology. 2007. Vol. 1. P. 61–63.
31. Prasanna A., Deepa V., Balakrishna M. P., Deecaraman M., Sridhar R., Dhandapani P. Insoluble phosphate solubilization by bacterial strains isolated from rice rhizosphere soils from Southern India // International Journal of Soil Science. 2011. Vol. 6(2). P. 134–141. DOI: 10.3923/ijss.2011.134.141.

32. Islam M. T., Deora A., Hashidoko Y., Rahman A., Ito T., Tahara S. Isolation and identification of potential phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of *Oryza sativa* L. cv. BR29 of Bangladesh // Zeitschrift für Naturforschung. 2007. Vol. 62 p. P. 103–110. DOI: 10.1515/znc-2007-1-218.
33. Gulati A., Sharma N., Vyas P., Sood S., Rahi P., Pathania V., Prasad R. Organic acid production and plant growth promotion as a function of phosphate solubilization by *Acinetobacter rhizosphaerae* strain BIHB 723 isolated from the cold deserts of the trans-Himalayas // Archives of Microbiology. 2010. Vol. 192(11). P. 975–983. DOI:10.1007/s00203-010-0615-3.
34. Chen Z., Ma S., Liu L. Studies on phosphorus solubilizing activity of a strain of phosphobacteria isolated from chestnut type soil in China // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99(14). P. 6702–6707. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.03.064.
35. Chen Y. P., Rekha P. D., Arun A. B., Shen F. T., Lai W. A., Young C. C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities // Applied Soil Ecology. 2006. Vol. 34(1). P. 33–41. DOI: 10.1016/j.apsoil.2005.12.002.
36. Baranskaya M. I., Chaikovskaya L.A Primary evaluation of newly isolated strains of phosphate-mobilizing bacteria // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 1(25). P. 28–37. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-28-37.
37. Chung H., Park M., Madhaiyan M., Seshadri S., Song J., Cho H., Sa T. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea // Soil Biology and Biochemistry. 2005. Vol. 37(10). P.1970–1974. DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.02.025.
38. Abril A., Zurdo-Pineiro J. L., Peis A., Rivas R., Velazquez E. Solubilization of phosphate by a strain of *Rhizobium leguminosarium* bv trifolii isolated from *Phaseolus vulgaris* in El Chaco Arido soil (Argentina) // First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization: Developments in Plant and Soil Sciences. Editors E. Velázquez, C. Rodríguez-Barrueco. 2007. Vol. 102. P. 135–138. DOI:10.1007/978-1-4020-5765-6_19
39. Alikhani H. A., Saleh-Rastin N., Antoun H. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils // Plant and Soil. 2007. P.135–138. DOI: 10.1007/978-1-4020-5765-6_4.
40. Son H.-J., Park G.-T., Cha M.-S., Heo M.-S. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere // Bioresource Technology. 2006. Vol. 97(2). P. 204–210. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.02.021.
41. Hamdali H., Hafidi M., Virolle M. J., Ouhdouch Y. Rock phosphate solubilizing *Actinomycetes*: Screening for plant growth promoting activities // World Journal Microbiology and Biotechnology. 2008. Vol. 24(11). P. 2565–2575. DOI: 10.1007/s11274-008-9817-0.
42. Khan M. S., Zaidi A., Ahemad M., Oves M., Wani P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi-current perspective // Archives of Agronomy and Soil Science. 2010. Vol. 56(1). P. 73–98. DOI: 10.1080/03650340902806469.
43. Xiao C., Chi R., Li X., Xia M., Xia Z. Biosolubilization of rock phosphate by three stress-tolerant fungal strains // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2011. Vol. 165. P. 719–727. DOI: 10.1007/s12010-011-9290-3.
44. Mittal V., Singh O., Nayyar H., Kaur J., Tewari R. Stimulatory effect of phosphate solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2) // Soil Biology and Biochemistry. 2008. Vol. 40(3). P. 718–727. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.10.008.
45. Sane S. A., Mehta S. K. Isolation and evaluation of rock phosphate solubilizing fungi as potential biofertilizer // Journal of Fertilizers and Pesticides. 2015. Vol. 6. P. 156.
46. Xiao C., Chi R., He H., Qiu G., Wang D., Zhang W. Isolation of phosphate solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2009. Vol. 159 (2). P. 330–342. DOI: 10.1007/s12010-009-8590-3.
47. Singh H., Reddy M. S. Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils // European Journal of Soil Biology. 2011. Vol. 47. P. 30–34. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.10.005.
48. Richardson A. E., Simpson R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability // Plant Physiology. 2011. Vol. 156. No. 3. P. 989–996. DOI: 10.1104/pp.111.175448.
49. 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.
50. Kudoyarova G. R., Vysotskaya L. B., Arkhipova T. N., Kuz'mina L. Yu., Galimzyanova N. F., Sidorova L. V., Gabbasova I. M., Melent'ev A. I. The effect of auxin-producing and phosphate-mobilizing bacteria on the mobility of soil phosphorus, the growth rate of wheat plants and their absorption of phosphorus// Agrohimia. 2016. No. 5. P. 28–34.
51. Menkina R. A. Role of *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* in plant nutrition // Trudy Instituta mikrobiologii AN SSSR. 1961. Vol. 11. P. 238–245.

52. Sharma S. B., Sayyed R. Z., Trivedi M. H., Gobi T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils // Springer Plus. 2013. Vol. 2. P. 587. DOI: 10.1186/2193-1801-2-587.
53. Thakur D., Kaushal R., Shyam V. Phosphate solubilising microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plants – a review // Agricultural Reviews. 2014. Vol. 35 (3). P. 159–171. DOI: 10.5958/0976-0741.2014.00903.9.
54. Mikhailouskaya N. A., Mikanova O., Barashenko T. B., Tarasiuk E. G., Duysova S. V. Properties of phosphorus-mobilizing bacteria and their effect on cereal crop yields on luvisol loamy sand soils // Soil Science and Agrochemistry. 2011. No. 2(47). P.120–129.
55. Bosak V. N., Safronova G. V., Aleschenkova Z. M., Minyuk O. N. Method for optimizing the phosphate regime of soil to cultivate agricultural crops // Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects. Collection of scientific papers. 2016. Vol. 8. P. 148–161.
56. Merkusheva M. G., Ubugunov L. L., Boloneva L. N., Nimaeva M-B. M., Mangataev Ts. D., Badmaev A. B. Phosphate-mobilizing microorganisms as biological activators of fertilizers from agricultural ores // Plodorodie. 2008. No. 1. P. 23-24.
57. Trepach A. O., Tokmakova L. M., Larchenko I. V. Efficiency of bacterization of winter wheat by phosphate-mobilizing bacteria // Agrochemistry and soil science. Special issue for the VIII Congress of UTGA. 2010. Book. 3. P. 340–344.
58. Trepach A. O., Tokmakova L.M. Role of *Rhizobium radiobacter* in increasing the phosphorus nutrition of winter wheat // VII Scientific Conference of Young Scientists “Microbiology in modern agricultural production”. Chernihiv: CNTEI, 2010. P. 43–45.
59. Chaykovska L. A. Scientific principles of the biological mobilization of phosphorus in the agroecosystems of southern Steppe of Ukraine. Authors’ abstract ... Dr. Sc. (Agr.). Kiev: National Agrarian University, 2004. 37 p.
60. Chaikovskaya L. A., Baranskaya M. I. The mechanism of action of rhizobacteria *Enterobacter nimipressuralis* 32-3 on the mineral nutrition and productivity of soybean // Annual Research & Review in Biology. 2017. Vol. 14. Iss. 5. DOI: 10.9734/ARRB/2017/33934.
61. Baranskaya M. I. Effect of biopreparations based on phosphate mobilizing bacteria when growing spring barley in the southern Steppe of Ukraine. Authors’ abstract ... Cand. Sc. (Agr.). Chernigov: Institute of Agricultural Microbiology UAAS, 2010. 20 p.
62. Klyuchenko V. V. Phosphate mobilizing bacteria in the agrocenosis of winter wheat of the southern Steppe of Ukraine. Authors’ abstract ... Cand. Sc. (Agr.). Uman: National University of Horticulture, 2012. 22 p.
63. Chaikovska L. O., Klyuchenko V. V., Ovsienko O. L. Nutritional regime of southern chernozem under the influence of microbial preparations and mineral fertilizers // Scientific Herald of Chernivtsy University. Biology (Biological Systems). 2012. Vol. 4. Iss. 3. P. 344–347.
64. Hameeda B., Harini G., Rupela O.P., Wani S.P., Reddy G. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna // Microbiological Research. 2008. Vol. 163(2). P. 234–242. DOI: 10.1016/j.micres.2006.05.009.
65. Fernandez L. A., Zalba P., Gomez M.A., Sagardoy M. A. Phosphate solubilization activity of bacterial strains in soil and their effect on soybean growth under greenhouse conditions // Biology and Fertility of Soils. 2007. Vol. 43(6). P. 805–809. DOI: 10.1007/s00374-007-0172-3.
66. Afzal A., Ashraf M., Asad S. A., Farooq M. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed area // International Journal of Agriculture and Biology. 2005. Vol. 7(2). P.1560–8530.
67. Mehrvarz S., Chaichi M.R., Alikhani H.A. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.) // American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 2008. Vol. 3. P. 822–828.
68. Vikram A., Hamzehzarghani H. Effect of phosphate solubilizing bacteria on nodulation and growth parameters of green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) // Research Journal of Microbiology. 2007. Vol. 3(2). P. 62–72. DOI: 10.3923/jm.2008.62.72.
69. Hajjam Y., Cherkaoui S. The influence of phosphate solubilizing microorganisms on symbiotic nitrogen fixation: perspectives for sustainable agriculture // Journal of Materials and Environmental Sciences. 2017. Vol. 8. P. 801–808.
70. Wani P., Khan M., Zaidi A. Synergistic effects of the inoculation with nitrogen fixing and phosphate solubilizing rhizobacteria on the performance of field grown chickpea // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2007. Vol. 170. P. 283–287. DOI: 10.1002/JPLN.200620602.
71. Wani P., Khan M., Zaidi A. Co-inoculation of nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria to promote growth, yield and nutrient uptake in chickpea // Acta Agronomica Hungarica. 2007. Vol. 55. P. 315–323. DOI: 10.1556/AAgr.55.2007.3.7.

72. Guiñazú L. B., Andrés J. A., MFDel P., Pistorio M., Rosas S. B. Response of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to single and mixed inoculation with phosphate-solubilizing bacteria and *Sinorhizobium meliloti* // *Biology and Fertility of Soils*. 2009. Vol. 46(2). P. 185–190. DOI: 10.1007/s00374-009-0408-5.
73. Afzal A., Bano A. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *International Journal of Agriculture and Biology*. 2008. Vol. 10(1). P. 85–88.
74. Yousefi A., Khavazi K., Moezi A., Rejali F., Nadian H. Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth // *World Applied Sciences Journal*. 2011. Vol. 15. P. 1310–1318.
75. Iutinskaya G. A. Biotechnological potential of soil bacteria – the basis of microbial preparations for crop production // *Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects. Collection of scientific papers*. 2013. Vol. 5. P. 235–244.
76. Iutynska G. O., Bilyavska L. O., Titova L. V., Leonova N. O., Yamborko N. A., Petruk T. V., Vozniuk S. V. Microbial bioformulations for plant growing. Methodical recommendations. Kyiv: Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, 2017. 83 p.
77. Bioregulation of microbial and plant systems // Ed. by Iutinskaya G.A., Ponomarenko S. P. Kiev: Nichlava, 2010. 464 p.
78. Patent of Ukraine No. 101388. Complex microbial preparation Ekovital for legumes cultivation // Authors: Titova L. V., Leonova N. O., Brovko I. S., Iutynska G. O. Publ. 25.03.2013. Bul. No. 6.
79. Vozniuk S. V., Tytova L. V., Lyaska S. I., Iutynska G. O. Influence of fungicides complex inoculum Ekovital on rhizosphere microbiocenosis, diseases resistance and soybeen productivity // *Mikrobiolohichni Zhurnal (Microbiological Journal)*. 2015. No. 77(4). P. 8–14.
80. Patent of Ukraine No 105276. Complex bacterial preparation Ecophosphorin for processing of cultivated plants // Authors: Titova L. V., Iutynska G. O., Brovko I. S. Publ. 25.04.2014. Bul. No. 8.
81. Tokmakova L.N. Strains of *Bacillus polymyxa* and *Achromobacter album* - the basis for the creation of bacterial preparations // *Mikrobiolohichni Zhurnal (Microbiological Journal)*. 1997. Vol. 59. No. 4. P. 131–138.
82. Tokmakova L. N. Microbial preparations to increase phosphate nutrition, crop productivity and saccharinity of sugar beet root // *Agricultural microbiology*. 2006. No. 4. P. 126–136.
83. Blyznyuk N. M., Tokmakova L. M., Lepekha O. P. Influence of Agrobacterin on root rots and fusarium wilt of plants of yellow lupine, their yield and grain quality // *Phosphorus and potassium in agriculture. Problems of microbiological mobilization. Collection of scientific works*. 2004. P. 5–9.
84. Tokmakova L. M., Trepach A. O., Lepekha O. G. Influence of phosphate-mobilizing bacteria on winter wheat phosphorus nutrition // *Agrochemistry and soil science. Special issue for the VIII Congress of UTGA*. 2010. Book. 3. P. 339–340.
85. Tokmakova L. M. Laboratory of biological phosphorus. Research results // *Agricultural microbiology: achievements and prospects. Collection of scientific works (dedicated to the 50th anniversary of the founding of Institute of Agricultural Microbiology of NAAS)*. 2011. P. 31–35.
86. 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.
87. Sukhovitskaya L. A. Phosphate-mobilizing microorganisms and biophosphorus in agricultural practice in Belarus // *Phosphorus and potassium in agriculture. Problems of microbiological mobilization. Collection of scientific works*. 2004. P. 135–140.
88. Aleschenkova Z. Microbial fertilizers stimulating plant growth and development // *Nauka i Innovatsii*. 2015. No. 8(150). P. 66–67.

UDC 579.64; 631.461; 633.1

Chaikovskaya L. A., Ovsienko O. L.

PHOSPHATE-MOBILIZING MICROORGANISMS:

1. BIODIVERSITY, INFLUENCE ON PLANTS MINERAL NUTRITION AND PRODUCTIVITY

Summary. Phosphorus is an essential plant nutrient involved in plants' growth and development, accelerated formation of reproductive organs and other important factors for obtaining high and stable crop yields and, therefore, high-quality products. Easily absorbed phosphorus compounds obtained from soil or fertilizers are the most valuable for plants.

One of the promising directions for improving the phosphorus nutrition of agricultural crops is biological phosphate mobilization that is carried out by soil microorganisms – bacteria and filamentous fungi (micromycetes). They contribute to the conversion of poorly soluble phosphorus compounds into forms accessible to higher plants. The effect of microorganisms on plants in terms of improving their mineral nutrition, in particular phosphorus, was reviewed in this article. We analysed domestic and foreign literature sources (over the last 15 years) focused on the biodiversity of soil phosphate-mobilizing microorganisms and their influence on converting insoluble phosphate to soluble forms. The features of the mechanisms of biotransformation of organic and mineral phosphates by soil microorganisms and the main criteria for screening effective isolates able to convert poorly soluble phosphorus compounds into forms available for plants were described in detail. This review also demonstrates that several microorganisms belonging to different taxonomic groups (bacteria and micromycetes) are recognized as powerful phosphate solubilizers or bioconverters of poorly soluble phosphorus compounds into water-soluble forms. We also surveyed scientific works, in which the practical application of effective strains of microorganisms that transform unavailable phosphorus compounds into available for plants was studied; and those, in which the role of microorganisms in increasing the availability of phosphorus for agricultural plants and their productivity improvement was demonstrated. A comprehensive description of microbial preparations “Agrofil”, “Biovays”, “Ekophosphorin”, “Ekovital”, “Biophosphorin”, “Albobacterin”, “Polymiksobacterin”, “Agrobacterin”, “Phosphostim”, “Fitostimophos”, “Agromik”, “Baktopin” based on phosphate-mobilizing microorganisms, developed and used in various countries to optimize mineral nutrition of cultivated plants, is given.

Keywords: *biological phosphate-mobilization, bacteria, micromycetes, solubilization, mineralization, plants productivity, microbial preparations.*

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.

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: olov sien@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.

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 – 28.09.2021.

Дата принятия к печати – 20.10.2021.

