



Уральский государственный
аграрный университет

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**2022
№12 (227)**

ISSN (print) 1997-4868
e ISSN 2307-0005

Сведения о редакционной коллегии

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, вице-президент РАН (Москва, Россия)
О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), ректор Уральского ГАУ (Екатеринбург, Россия)
П. Сотони (заместитель главного редактора), доктор ветеринарных наук, профессор, академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор, Университет ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)

Члены редакционной коллегии

Н. В. Абрамов, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)
Р. З. Аббас, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)
В. Д. Богданов, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)
В. Н. Большаков, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
О. А. Быкова, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)
Э. Д. Джавадов, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства (Ломоносов, Россия)
Л. И. Дроздова, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)
Н. Н. Зезин, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)
С. Б. Исмурастов, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)
В. В. Калашников, академик РАН, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязань, Россия)
А. Г. Кошаев, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)
В. С. Мымрин, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)
А. Г. Нежданов, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)
М. С. Норов, Таджикский аграрный университет имени Шириншоха Шотемур (Душанбе, Таджикистан)
В. С. Паштецкий, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)
Ю. В. Плугатарь, член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, начальник Отдела РАН по взаимодействию с научными организациями Крыма и города федерального значения Севастополя, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта, Россия)
О. А. Рущицкая, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
А. А. Стекольников, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
В. Г. Тюрин, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)
И. Г. Ушачев, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)
С. В. Шабунин, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)
И. А. Шкуратова, Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт (Екатеринбург, Россия)

Editorial board

Irina M. Donnik (Editor-in-Chief), Academician of the Russian Academy of Sciences, Vice President of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Olga G. Lorets (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Péter Sótönyi (Deputy chief editor), doctor of veterinary sciences, professor, academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector, University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)

Editorial Team

Nikolay V. Abramov, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)
Rao Zahid Abbas, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)
Vladimir D. Bogdanov, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)
Vladimir N. Bolshakov, Academician of the Russian Academy of Sciences; Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)
Olga A. Bykova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Eduard D. Dzhavadov, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (Lomonosov, Russia)
Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Nikita N. Zezin, Ural Research Institute of Agricultural (Ekaterinburg, Russia)
Sabit B. Ismurafov, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov (Kostanay, Kazakhstan)
Valeriy V. Kalashnikov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, the All-Russian Research Institute for Horsebreeding (Ryazan, Russia)
Andrey G. Koshchayev, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)
Vladimir S. Mymrin, “Uralplemstentr” (Ekaterinburg, Russia)
Anatoliy G. Nezhdanov, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)
Mastibek S. Norov, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)
Vladimir S. Pashtetstskiy, Research Institute of Agriculture of Crimea (Simferopol, Russia)
Yuriy V. Plugar, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, member of the Presidential Council for Science and Education, Head of the Department of the Russian Academy of Sciences for Cooperation with Scientific Organizations of Crimea and Sevastopol, The Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Yalta, Russia)
Olga A. Ruschitskaya, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Anatoliy A. Stekolnikov, Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russia)
Vladimir G. Tyurin, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Moscow, Russia)
Ivan G. Ushachev, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics (Moscow, Russia)
Sergey V. Shabunin, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology And Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)
Irina A. Shkuratova, Ural Research Veterinary Institute (Ekaterinburg, Russia)

Нас индексируют / Indexed

ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Содержание

Contents

Агротехнологии

Agrotechnologies

- | | | | |
|--|----|---|--|
| <p><i>Е. П. Артемьева, В. В. Валдайских,
Т. А. Радченко, М. Ю. Карпухин</i>
Перспективы выращивания
высокотравных растений в качестве
углероддепонирующих культур</p> | 2 | <p><i>E. P. Artemyeva, V. V. Valdayskikh,
T. A. Radchenko, M. Yu. Karpukhin</i>
The prospects of growing
large-herb plants
as carbon-depositing crops</p> | |
| <p><i>М. Н. Кинчарова, А. И. Кинчаров,
М. Р. Абдряев</i>
Распространенность грибной инфекции
на семенах озимой пшеницы в условиях
Среднего Поволжья</p> | 11 | <p><i>M. N. Kincharova, A. I. Kincharov,
M. R. Abdryaev</i>
Prevalence of fungal infection
on winter wheat seeds under conditions
of the Middle Volga region</p> | |
| <p><i>Т. Г. Леконцева, А. В. Федоров</i>
Эффективность предпосевной обработки
семян <i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>sesquipedalis</i>,
<i>Triticum aestivum</i> L., <i>Raphanus sativus</i> L.,
<i>Allium cepa</i> L. оксидом кремния</p> | 23 | <p><i>T. G. Lekontseva, A. V. Fedorov</i>
Efficiency of presowing seed treatment
of <i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>sesquipedalis</i>,
<i>Triticum aestivum</i> L., <i>Raphanus sativus</i> L.,
<i>Allium cepa</i> L. with silicon oxide</p> | |
| Биология и биотехнологии | | Biology and biotechnologies | |
| <p><i>К. М. Dzhulamanov, Sh. A. Makaev,
N. P. Gerasimov</i>
Evaluation of the gene pool by <i>GH L127V</i>
and <i>GHR F279Y</i> polymorphisms
in Kazakh White-Headed cattle</p> | 35 | <p><i>K. M. Dzhulamanov, Sh. A. Makaev,
N. P. Gerasimov</i>
Evaluation of the gene pool by <i>GH L127V</i>
and <i>GHR F279Y</i> polymorphisms
in Kazakh White-Headed cattle</p> | |
| <p><i>Ю. В. Зайцева, Д. А. Доколин, И. В. Злобин</i>
Микробиоценоз кишечника радужной форели
в условиях садкового хозяйства</p> | 42 | <p><i>Yu. V. Zaytseva, D. A. Dokolin, I. V. Zlobin</i>
Intestinal microbiocenosis of rainbow trout
in the conditions of a cage farm</p> | |
| <p><i>Yu. O. Lyashchuk, A. Yu. Ovchinnikov,
K. A. Ivanishchev, A. V. Shchur</i>
Assessment of the resistance
of alimentary-related risk factors
to the effects of chemical disinfectants</p> | 54 | <p><i>Yu. O. Lyashchuk, A. Yu. Ovchinnikov,
K. A. Ivanishchev, A. V. Shchur</i>
Assessment of the resistance
of alimentary-related risk factors
to the effects of chemical disinfectants</p> | |
| <p><i>Д. А. Старикова, Т. И. Кузьмина</i>
Особенности функциональной активности
липидома в ооцитах <i>Sus scrofa domesticus</i>
при интраовариальной витрификации</p> | 62 | <p><i>D. A. Starikova, T. I. Kuzmina</i>
Features of functional activity of lipidome
in <i>Sus scrofa domesticus</i> oocytes
after intraovarian vitrification</p> | |

Экономика

Economy

- | | | |
|--|----|--|
| <p><i>А. Н. Митин, О. А. Рущицкая,
Б. А. Воронин, Т. И. Кружкова</i>
К вопросу использования маргинальных
земель с участием иммигрантов</p> | 73 | <p><i>A. N. Mitin, O. A. Rushchitskaya,
B. A. Voronin, T. I. Kruzhkova</i>
On the use of marginal lands with
the participation of immigrants</p> |
| <p><i>Н. В. Степных, С. А. Копылова,
Е. В. Нестерова</i>
Экономическая эффективность использования
материальных ресурсов в растениеводстве</p> | 86 | <p><i>N. V. Stepnykh, S. A. Kopylova,
E. V. Nesterova</i>
Economic efficiency of resource use
in crop production</p> |

Перспективы выращивания высокотравных растений в качестве углероддепонирующих культур

Е. П. Артемьева^{1,2}, В. В. Валдайских^{1✉}, Т. А. Радченко¹, М. Ю. Карпухин³

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: v_vald@mail.ru

Аннотация. Цель – выделение из коллекционного фонда ботанического сада УрФУ однолетних и многолетних травянистых растений, перспективных для задач ускорения секвестрации атмосферного углерода, устойчивых к местным почвенно-климатическим условиям, и оценка их продуктивности. **Методы.** В статье представлены данные по продуктивности пяти видов травянистых растений: *Amaranthus caudatus* L., *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus hypochondriacus* L., *Polygonum weyrichii* F. Schmidt и *Echinops sphaerocephalus* L. Определены значения сырой и сухой надземной массы, а также содержание углерода. **Результаты.** Выявлено, что наиболее урожайным является *Polygonum weyrichii* F. Schmidt (горец Вейриха). Продуктивность трех исследованных видов амаранта обусловлена принадлежностью к группе растений с типом фотосинтеза C₄. Мордовник шароголовый – малоизученный вид, требующий дальнейшего изучения. Рекомендовано выращивание горца Вейриха на увлажненной территории. Амаранты, являясь засухоустойчивыми растениями, высокопродуктивны в любые годы, даже в годы со значением гидротермического коэффициента (ГТК) менее 1,0. В относительно неблагоприятных климатических условиях 2022 г. потенциальная карбоновая ферма на основе монокультуры горца Вейриха может связывать до 9,54 т/га углерода, в пересчете на углекислый газ – 34,98 CO₂/год на га, что значительно выше уровня секвестрации углекислоты большинства древесных культур. В лучших климатических условиях или при дополнительном поливе эти значения могут увеличиться в 1,5–2 раза. **Научная новизна.** Рассмотрены особенности выращивания исследованных культур не только в кормовых целях, но и с точки зрения депонирования атмосферного углерода и выращивания на потенциальных карбоновых фермах в условиях изменяющегося климата региона.

Ключевые слова: амарант, горец, мордовник, высокотравные растения, продуктивность, карбоновые фермы, секвестрация углекислоты.

Для цитирования: Артемьева Е. П., Валдайских В. В., Радченко Т. А., Карпухин М. Ю. Перспективы выращивания высокотравных растений в качестве углероддепонирующих культур // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-2-10.

Дата поступления статьи: 15.11.2022, **дата рецензирования:** 25.11.2022, **дата принятия:** 30.11.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

В рамках актуальной в настоящее время карбоновой тематики, связанной с необходимостью снижения темпов роста концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы, отмечен рост интереса к высокотравным растениям. Это обусловлено их высокой скоростью накопления биомассы и, как следствие, относительно быстрыми темпами секвестрации углекислоты этими растениями. Очевидно, что одну из главных ролей в секвестрации углерода играют древесные сообщества

с долговременным пулом углерода в древесине, но секвестрационная способность высокотравных травянистых культур ожидается сравнимой с таковой у древесных растений при условии решения задачи дальнейшего использования надземной биомассы. Высокотравные растения являются необходимым элементом для формирования устойчивых сообществ и должны рассматриваться как объект пристального внимания при создании карбоновых ферм.

Кроме показателей продуктивности, углерод-депонирующие функции растительной биомассы во многом связаны с качественным составом растительного сырья, прежде всего содержанием углерода и азота в биомассе.

В ботаническом саду Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ) за последние 40 лет была сформирована коллекция высокотравных многолетних растений, насчитывающая 15 видов из различных семейств, большая часть из них – инорайонные виды, с которыми был проведен комплекс многолетних интродукционных мероприятий для введения их в культуру в условиях Среднего Урала [1]. Эти травянистые растения характеризуются большой надземной биомассой и продуктивным долголетием. Высокотравные растения имеют многофункциональное значение и могут быть использованы для различных целей: пищевых, кормовых, технических, лекарственных, для рекультивации промышленно загрязненных территорий, получения биотоплива, биоугля и пр. Изучение продуктивности и содержания углерода в тканях высокотравных растений позволяет оценить их секвестрационный потенциал. Вместе с тем важно знать о способности адаптации этих видов к условиям стресса.

Целью наших исследований было изучение показателей продуктивности однолетних и многолетних травянистых растений разных видов в условиях Среднего Урала.

В задачи входило:

- 1) измерение сырой и сухой надземной массы у двух видов однолетних и двух видов многолетних растений;
- 2) сравнение показателей продуктивности исследуемых видов с известными в литературе данными;
- 3) изучение концентрации углерода в биомассе растений;
- 4) на основе полученных данных выявление перспективных видов для дальнейшего подробного изучения.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа была выполнена в ботаническом саду УрФУ, расположенном на 56°50' северной широты и 60°36' восточной долготы, 255 м высоты над уровнем моря. Растения выращивались в автоморфных условиях на хорошо дренируемых окультуренных дерново-слабоподзолистых среднесуглинистых почвах, сформированных на элювии-делювии гранитов. Почвы характеризуются относительно высоким содержанием гумуса в пахотном горизонте (5,8–7,9 %), близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора (рН KCl от 6,0 до 6,5 с уменьшением до 4,3–4,7 в иллювиальных горизонтах), достаточно высокой обеспеченностью доступными

растениям формами калия (10,43–16,15 мг / 100 г почвы) и фосфора (19,83–21,19 мг / 100 г почвы) в пахотном горизонте.

Климатические условия характеризуются как умеренно-континентальные. По средним многолетним наблюдениям, ведущимся в ботаническом саду, период активной вегетации с температурой выше 10 °С длится около 130 дней, с температурой выше 15 °С (метеорологическое лето) в среднем составляет 77 дней.

Вегетационный период 2022 г. имел неравномерное распределение осадков, большая часть из которых выпала в начале вегетации, а также отличался температурами заметно ниже среднемноголетних в начале сезона и жаркой, засушливой погодой во второй половине вегетации. В мае и июне среднемесячные температуры были ниже среднемноголетних и составили 10,9 °С (отклонение –1,3) и 15,7 °С (отклонение –1,2). Осадков в мае выпало 73 мм (157 % от нормы), в июне – 85 мм (118 % от нормы). Во второй половине вегетационного сезона среднесуточная температура была выше нормы на 2,0–4,4 °С. Суммы осадков в июле и августе были ниже нормы и составили 11 % и 31 % от нормы соответственно. Сумма осадков в летние месяцы составила 120 мм. Недостаток влаги в почве повлиял на снижение урожайности исследованных нами высокотравных культур.

Для оценки погодных условий вегетационного периода рассчитывали гидротермический коэффициент (ГТК) по формуле Г. Т. Селянинова:

$$\text{ГТК} = \Sigma r \cdot 10 / \Sigma t,$$

где Σr – сумма осадков за период с температурами выше 10 °С (мм),

Σt – сумма среднесуточных активных температур (выше 10 °С) за вегетационный период (°С).

Этот критерий, характеризующий соотношение влаги и тепла, имеет свое оптимальное значение для каждой возделываемой культуры.

Объектами исследования были три однолетних вида амаранта из семейства *Amaranthaceae*: *Amaranthus caudatus* L. (амарант хвостатый), *A. cruentus* L. (амарант багряный) *Amaranthus hypochondriacus* L. (амарант печальный), а также два многолетних вида: горец Вейриха *Polygonum weyrichii* F. Schmidt (семейство *Polygonaceae*) и мордовник шароголовый *Echinops sphaerocephalus* L. (семейство *Asteraceae*) [2].

Семена амарантов высевали в третьей декаде мая 2022 г. во избежание повреждения всходов возвратными заморозками в первой декаде июня. Расстояние между рядами в коллекционном питомнике составляло 0,5–0,6 м. После появления всходов при необходимости проводили прореживание и прополку. Многолетние горец Вейриха и мордовник шароголовый постоянно произрастали на опытно-экспериментальных участках на протя-

жении более 20 лет благодаря естественному вегетативному размножению корневищами. С 1997 г. в ботаническом саду с ними ведется интродукционная работа, включающая в себя фенологические наблюдения, изучение роста и развития и химического состава надземной биомассы.

Измерение продуктивности и содержание углерода и азота проводили в начале сентября 2022 г. Взвешивание надземной части растений проводили на электронных весах Foodatlas BT-40C (погрешность 0,8 %). Определяли сырую массу отдельного растения (или побега) в 5–6 повторностях и сухую массу после высушивания при комнатной температуре в закрытом помещении. Так как растение горца Вейриха состоит из нескольких стеблей и сложно точно установить принадлежность отдельного стебля к растению из-за переплетенных корневищ, то мы в наших исследованиях измеряли массу отдельного стебля (побега). Также измеряли в трехкратной повторности надземную сырую массу с участков площадью 1–3 м² и пересчитывали на воздушно-сухую массу.

Для элементного анализа использовались образцы биомасс, размолотых до порошкообразного состояния. Содержание углерода в измельченных растительных образцах определяли в микронавесках 1,0–1,5 мг в двух (трех) параллельных измерениях на элементных анализаторах CHN PE 2400, с.П., (Perkin Elmer Instruments, США) и EA3000 EuroVector Instruments (Италия). Показатель точности (границы абсолютной погрешности) в пределах ± 0,30 %. Элементный анализ выполнен в Центре коллективного пользования «Спектроскопия и анализ органических соединений» группой элементного анализа Института органического синтеза УрО РАН. Статистическую обработку данных проводили в программах Excel и Statistica 13.

Результаты (Results)

В таблице 1 представлены результаты измерения урожайности надземной массы отдельных растений амаранта хвостатого, амаранта багряного, амаранта печального, мордовника шароголового и отдельных побегов горца Вейриха, а также содержание углерода в надземной части.

Измеренные в конце вегетационного сезона 2022 г. значения сырой и сухой массы надземной части исследуемых культур в пересчете на площадь представлены в таблице 2.

Амаранты являются однолетними травянистыми растениями с типом фотосинтеза C₄. Урожайность надземной зеленой массы у разных видов и сортов амаранта колеблется, некоторые сорта отличаются высокой урожайностью. В относительно неблагоприятном в климатическом отношении 2022 г. урожайность исследованных видов амарантов была невысокой и составила 23,7–31,8 т сырой массы на 1 га, или 6,0–6,7 т сухой массы на 1 га (таблица 1). При этом амаранты содержали большое количество воды – около 80 %. Известно, что стебель амаранта является резервуаром – накопителем воды [3]. Благодаря накопленной воде и регуляции водного режима с помощью устьичного аппарата растения амаранта достаточно гидростабильны.

Многолетние исследования продуктивности амаранта в ботаническом саду УрФУ показывают значительно большие показатели биомассы в благоприятные годы. Так, в 2021 г. они были на уровне значений продуктивности в других странах [4] и составили 44,1–57,3 т сырой массы на 1 га в условиях незагущенных посадок [5].

Вегетационный период амаранта до полного созревания семян составляет около 100–120 дней.

Таблица 1

Масса одного растения / побега исследуемых культур и содержание углерода

Культура	Сырая масса, г	Сухая масса, г	Содержание воды, %	Содержание углерода на сухую массу, %
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	257,3 ± 156,9	52 ± 38,3	80,4 ± 2,8	34,38 ± 1,30
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	252,0 ± 87,7	71 ± 24,9	71,9 ± 0,5	37,80 ± 0,43
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	255,7 ± 50,9	54 ± 13,4	78,9 ± 1,8	39,63 ± 0,36
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	188,3 ± 41,6	76 ± 15,9	59,5 ± 1,5	42,70 ± 1,03
<i>Polygonum weyrichii</i> F. Schmidt	313,7 ± 58,1	71 ± 17,0	77,6 ± 2,3	42,42 ± 0,56

Table 1

The weight of a plant / a shoot of the studied crops and carbon content

Crop	Wet weight, g	Dry weight, g	Water content, %	Carbon content from dry weight, %
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	257.3 ± 156.9	52 ± 38.3	80.4 ± 2.8	34.38 ± 1.30
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	252.0 ± 87.7	71 ± 24.9	71.9 ± 0.5	37.80 ± 0.43
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	255.7 ± 50.9	54 ± 13.4	78.9 ± 1.8	39.63 ± 0.36
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	188.3 ± 41.6	76 ± 15.9	59.5 ± 1.5	42.70 ± 1.03
<i>Polygonum weyrichii</i> F. Schmidt	313.7 ± 58.1	71 ± 17.0	77.6 ± 2.3	42.42 ± 0.56

Таблица 2
Продуктивность исследуемых культур

Культура	Сырая масса, т/га	Сухая масса, т/га	Углерод, т/га
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	31,8 ± 5,0	6,2 ± 1,0	2,13
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	23,7 ± 5,0	6,7 ± 1,4	2,53
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	28,5 ± 4,9	6,0 ± 1,0	2,38
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	55,1 ± 18,0	22,3 ± 7,3	9,52
<i>Polygonum weyrichii</i> F. Schmidt	100,3 ± 21,5	22,5 ± 4,8	9,54

Table 2
The yield of the studied crops

Crop	Fresh yield, t/ha	Dry yield, t/ha	Carbon, t/ha
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	31.8 ± 5.0	6.2 ± 1.0	2.13
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	23.7 ± 5.0	6.7 ± 1.4	2.53
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	28.5 ± 4.9	6.0 ± 1.0	2.38
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	55.1 ± 18.0	22.3 ± 7.3	9.52
<i>Polygonum weyrichii</i> F. Schmidt	100.3 ± 21.5	22.5 ± 4.8	9.54

Амаранты требовательны к теплу и нетребовательны к увлажнению растениями [6]. Высокая продуктивность амаранта связана с тем, что в его листьях происходит особый тип фотосинтеза – C_4 [3], отличающийся от того, который идет в листьях растений нашего умеренного климата. В жарком тропическом климате при температуре 35–45 °C такие растения продолжают фотосинтезировать. Неоднократно была отмечена более высокая способность связывать углерод растениями C_4 (например, кукурузой и сорго) по сравнению с традиционными сельскохозяйственными культурами [7]. На основании анализа активности ферментов было показано, что способность к связыванию углерода у сельскохозяйственных культур C_4 намного выше, чем у растений C_3 , из-за более высокой активности фосфоенолпируваткарбоксилазы (ФЕП-карбоксилазы). Растения C_4 отличаются также иным анатомическим строением листа, позволяющим более эффективно производить обмен метаболитами. Эти и некоторые другие особенности растений C_4 позволяют им более эффективно продуцировать биомассу, прежде всего – в условиях недостатка влаги.

Ранее нами было выявлено усиление свойств C_4 амаранта, выращенного в условиях засухи, что, по нашим предположениям, может быть связано с увеличением реассимиляции CO_2 дыхательного происхождения [8]. Указанные особенности растений C_4 предопределяют повышенный интерес к ним в условиях климатических тенденций на Среднем Урале, в том числе в рамках карбоновой тематики.

Проведенные нами фенологические наблюдения показали [9], что основными лимитирующими факторами при развитии однолетних амарантов в умеренно континентальном климате являются

низкие летние температуры, избыточное увлажнение и короткое метеорологическое лето. Амарант является засухоустойчивым растением [8], [10]. Оптимальными для созревания семян амарантов считаются жаркие засушливые годы со значением ГТК менее единицы. Вегетационный период 2022 г. оказался менее благоприятным для роста и развития амарантов по сравнению с предыдущим годом [5]. В условиях ботанического сада УрФУ растения амаранта хвостатого в 2022 г. достигали средней высоты 100,5 ± 13,2 см, амаранта багряного – 124,0 ± 13,1 см, амаранта печального – 110,0 ± 7,2 см. Это значительно меньше многолетних измерений высоты разных видов амаранта в ботаническом саду. Общая листовая поверхность одного растения составила около 0,2 м² при средней площади листовой пластинки 73 см².

Ранее [5] были выявлены положительные корреляции биомассы амарантов с суммой среднесуточных температур выше 10 °C и суммой дневных максимумов. Корреляции с суммой минимальных суточных температур ($r = 0,5190$; $p = 0,019$) и значением ГТК значимы только на уровне достоверности $p < 0,05$. Корреляционные связи с суммой осадков за период вегетации амарантов статистически не значимы. Таким образом, для амарантов оптимальными являются годы с высокой температурой, к режиму увлажнения они менее требовательны.

Продуктивность исследуемых многолетних видов была стабильно высокой в годы с разными климатическими условиями. Так, например, в условиях засушливого лета 2021 г. урожайность горца Вейриха без дополнительного полива составила 152 т сырой массы на 1 га, или 36,7 т сухой массы на 1 га, что является хорошим показателем [5]. В более жаркий 2022 г. урожайность была меньше

и составила 100,3 т сырой массы на 1 га, или 22,5 т сухой массы на 1 га соответственно, что меньше среднего показателя массы за все годы наблюдений (рис. 1).

Очевидно, что высокая биомасса положительно связана с высотой растений, площадью листовой поверхности и долей листьев в биомассе. Наши наблюдения указывают, что горец отличался от других видов большей высотой (многолетние средние показатели $208,0 \pm 8,79$ см), характеризуется высокой ассимилирующей поверхностью листьев – доля листьев в биомассе составляет 30 %, площадь листовой поверхности – $5,6 \text{ м}^2$ на особь, или $41,6 \text{ м}^2$ на 1 м^2 поверхности.

Важно отметить, что стабильно высокую урожайность горец Вейриха, будучи многолетним растением, дает лишь спустя годы после посадки: в немногочисленных литературных источниках [11], [12] показано, что урожайность зеленой массы горца в первый год может составлять около 30 т/га, в последующие достигая значения 80 т/га и выше. Это многолетнее зимостойкое травянистое растение отличается ранним началом вегетации и

быстрым ростом. В условиях ботанического сада УрФУ начало отрастания побегов горца вейриха приходится уже на вторую декаду мая. Окончание вегетации горца, как правило, вынужденное, после осенних заморозков. Семена вызревают редко, но недостаточность семенного размножения компенсируется вегетативным. Зеленая масса богата протеином, витаминами, минеральными веществами.

Средняя сырая масса одного растения мордовника шароголового в конце вегетационного сезона 2022 г. составила $188,3 \pm 41,6$ г, что меньше массы побега горца, но при этом его воздушно-сухая масса была выше. Содержание воды в надземной массе мордовника составило всего 59,5 % в 2022 г.: это наименьшие показатели влажности из всех исследуемых нами травянистых растений. В сравнении с горцем Вейриха мордовник шароголовый характеризовался более низкой продуктивностью сырой надземной массы, однако по сухой фитомассе виды не отличались. Это можно объяснить низкой обводненностью тканей мордовника – 60 %. Высота мордовника была сопоставима с высотой горца Вейриха и составила 209 ± 16 см.

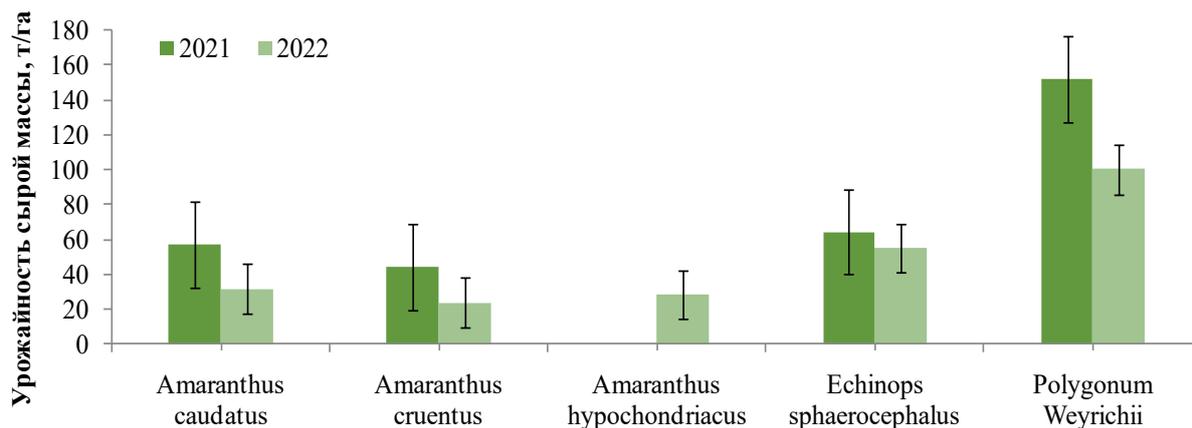


Рис. 1. Урожайность исследуемых культур в 2021–2022 гг.
Примечание: измерение урожайности *A. hypochondriacus* в 2021 г. не проводилось

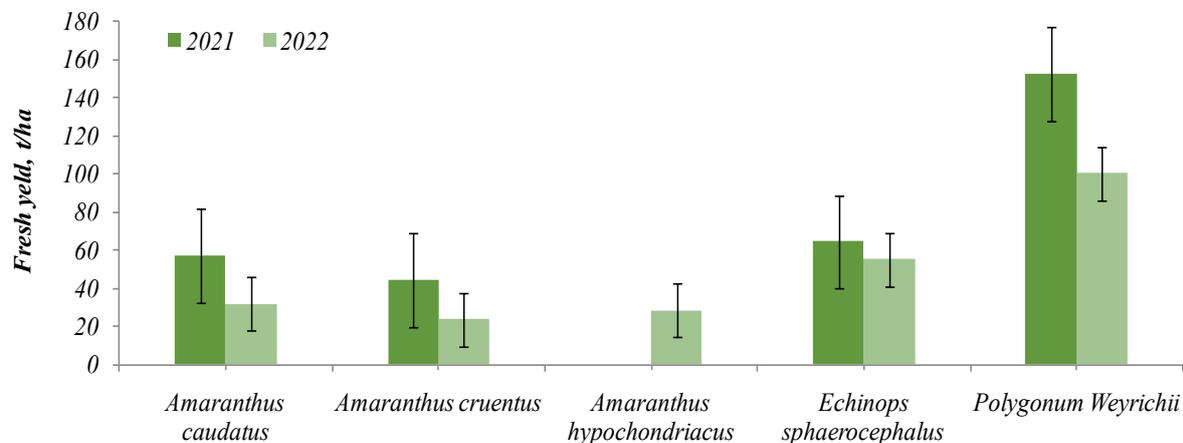


Fig 1. Fresh yield of the studied crops in 2021–2022.
Note: a yield measurement of *A. hypochondriacus* was not performed in 2021

Все исследуемые виды сильно различались по содержанию углерода в фитомассе: наименьшие значения обнаружены у амарантов, а самые высокие – у мордовника и горца. Отличительной чертой биомассы горца было достаточно высокое содержание углерода – 42,42 % наряду с высокой обводненностью тканей – 78 %. Судя по этим показателям, основную часть растения составляли механические, проводящие, покровные и обводненные ткани, что, как правило, отрицательно связано с интенсивностью фотосинтеза. Это объясняет достаточно низкую сухую биомассу. Такой набор признаков у горца может характеризовать его как вид, наиболее чувствительный к недостатку влаги. Показано, что для прорастания семян горца Вейриха требуется 60–70 % воды от массы сухого семени [11]. Ранее нами были выявлены положительные корреляции продуктивности с суммой осадков и значением ГТК и отрицательные с суммой положительных температур [5].

Мордовник шароголовый и горец Вейриха практически не отличались по содержанию углерода в надземной массе (таблица 1), что может быть связано с низкой долей фотосинтетических тканей. Это может являться причиной низкой скорости фотосинтеза, что ограничивает скорость роста. В то же время преобладание нефотосинтетических тканей и низкая обводненность тканей мордовника шароголового могут характеризовать этот вид как более устойчивый к дефициту влаги.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, сопоставление урожайности разных видов высокотравных растений в условиях интродукции в ботаническом саду УрФУ позволило нам выделить горец Вейриха, отличающийся высокой кормовой продуктивностью. Введение его в культуру может быть высокоэффективным, особенно в условиях повышенного увлажнения. По биохимическому составу и питательности горец Вейриха не уступает многим традиционным сельскохозяйственным культурам. При этом он отличается высокой урожайностью, низкой себестоимостью выращивания, в естественных условиях растет на различных почвах.

Особенно актуальным представляется его использование в качестве углероддепонирующей культуры. Согласно нашим исследованиям, даже в относительно неблагоприятных погодных условиях 2022 г. потенциальная карбоновая ферма на основе монокультуры горца Вейриха может

связывать 9,54 т/га углерода, что в пересчете на углекислый газ составляет 34,98 т CO₂/год на 1 га (в условиях 2021 г. эти значения составили 15,6 т/га углерода, или 57,2 т CO₂/год на 1 га) – это значительно выше уровня секвестрации углекислоты большинства древесных культур при тех же условиях. Естественно, для целей секвестрации атмосферного углерода должно быть предусмотрено дальнейшее использование полученной зеленой массы. В некоторых странах уже ведутся разработки по использованию горца Вейриха для получения биотоплива [13].

Известно, что видовое разнообразие положительно сказывается на связывании углерода в сельскохозяйственных угодьях [14]. В некоторых странах уже разрабатываются проекты адаптивной посадки зеленых насаждений с целью более его более эффективного депонирования, в том числе в сочетании с древесными культурами [15].

При формировании устойчивых экосистем посев и высадка травянистых растений является первым шагом, обеспечивающим формирование гумусового слоя почвы и дальнейшее успешное произрастание деревьев и кустарников. Высокотравные растения, устойчивые к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды, играют роль пионерных видов и способствуют устойчивости экосистем.

Предлагаемые многолетние и однолетние высокотравные культуры могут быть взаимодополняемы и взаимозаменяемы в условиях все более неустойчивого континентального климата, характеризующегося сменой влажных и сухих, холодных и теплых вегетационных периодов. Такие растения получают конкурентные преимущества при изменении климата и увеличении концентрации углекислого газа в приземном слое атмосферы [16]. Они могут быть использованы как в агрофитоценозах, так и при рекультивации нарушенных территорий. Для ускорения связывания атмосферного углерода и его депонирования в надземной массе представляется перспективным введение в травосмеси однолетних растений с типом фотосинтеза C₄.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема Государственного задания FEUZ-2021-0014.

Библиографический список

1. Okoneshnikova T. F., Stephanovich G. S., Valdayskikh V. V., Rymar V. P., Mikhlishchev R. V., Paltusova M. V. Introduction of new plant species for the practical uses in the Middle Urals // AIP Conference Proceedings. Ekaterinburg, 2022. Vol. 2390. Iss. 1. Article number 030068. DOI: 10.1063/5.0069400.
2. WFO (2022): World Flora Online [e-resource]. URL: <http://www.worldfloraonline.org> (date of reference: 05.11.2022).

3. Гасимова Г. А., Дегтярева И. А. Эколого-физиологические особенности фитомассы амаранта при интродукции в Республике Татарстан // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 241. № 1. С. 58–61. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-241-1-58-61.
4. Paredes-López O. Amaranth biology, chemistry, and technology [e-resource]. CRC Press, 2018. 223 p. URL: <http://www.tandfebooks.com/doi/book/10.1201/9781351069601>. DOI: 10.1201/9781351069601 (date of reference: 05.11.2022).
5. Valdayskikh V. V., Artemyeva E. P., Karpukhin M. Yu., Mikhailishchev R. V. Comparative yield of large-herb plants when grown in the Middle Urals [e-resource] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. 11 (214). Pp. 2–7. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-2-7.
6. Dmitrieva O., Ivanov S. Comparative study of amaranth species (*Amaranthus* ssp.) in the temperate continental climate of Russian Federation // Acta agriculturae Slovenica. 2020. No. 115/1. Pp. 15–24. DOI: 10.14720/aas.2020.115.1.1281.
7. Li T. X., Zhang F., Jiao Y. Y., Zhang M. J., Chang Y. H., Matomela N. Study on carbon sequestration capacity of typical crops in Northern China // Journal of Plant Biology. 2019. No. 62 (3). Pp. 195–202. DOI: 10.1007/s12374-018-0401-3.
8. Valdayskikh V. V., Voronin P. Yu., Artemyeva E. P., Rymar V. P. Amaranth responses to experimental soil drought // AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2063. Article number 030023. DOI: 10.1063/1.5087331.
9. Artemyeva E. P., Valdayskikh V. V., Radchenko T. A., Belyaeva P. A. *Amaranthus* phenology during its introduction in the Middle Urals // AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2063. Article number 030002. DOI: 10.1063/1.5087310.
10. Assad R., Reshi Z. A., Jan S., Rashid I. Biology of Amaranths // Botanical Review. 2017. No. 83 (4). Pp. 382–436. DOI: 10.1007/s12229-017-9194-1.
11. Ефремов В. В. Продуктивность горца Вейриха в полевом кормопроизводстве // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. № 20. С. 30–32.
12. Chupina M. P., Stepanov A. F. Assessment of photosynthetic productivity of new perennial forage crops in forest-steppe conditions of Western Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 624. Article number 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012121.
13. Kurhak V. H., Tkachenko M. A., Asanishvili N. M., Moisiienko V. V., Holodna A. V., Tkachenko A. M., Slyusar S. M., Ptashnik M. M., Kolomiets L. P., Tsybmal Ya. S., Oksymets O. L., Kulyk R. M., Panchyshyn V. Z., Stotska S. V., Sladkovska T. A. Energy productivity of uncommon herbs for solid fuel manufacturing // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. No. 11 (1). Pp. 299–305. DOI: 10.15421/2021_45.
14. Wang C., Tang Y. J., Li X. N., Zhang W. W., Zhao C. Q., Li C. Negative impacts of plant diversity loss on carbon sequestration exacerbate over time in grasslands // Environmental Research Letters. 2020. No. 15 (10). Article number 104055. DOI: 10.1088/1748-9326/abaf88.
15. Wang Y. N., Chang Q., Li X. Y. Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing // Urban Forestry & Urban Greening. 2021. Vol. 64. Article number 127291. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127291.
16. Korres N. E., Dayan F. Effects of climate change on crops and weeds: The need for climate-smart adaptation paradigm // Outlooks on Pest Management. 2020. Vol. 31 (5). Pp. 210–215. DOI: 10.1564/v31_oct_04.

Об авторах:

Елена Петровна Артемьева^{1, 2}, кандидат биологических наук, ведущий инженер ботанического сада¹, доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины»², ORCID 0000-0003-0937-460X, AuthorID 262616; +7 912 226-19-80, epartemyeva@urfu.ru

Виктор Владимирович Валдайских¹, кандидат биологических наук, директор ботанического сада, ORCID 0000-0001-9440-8522, AuthorID 142640; +7 912 277-07-22, v_vald@mail.ru

Татьяна Александровна Радченко¹, кандидат биологических наук, директор департамента наук о Земле и космосе, ORCID 0000-0003-4135-2902, AuthorID 148570; +7 953 044-25-62, tatiana.radchenko@urfu.ru

Михаил Юрьевич Карпукhin³, кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и инновациям, ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196; +7 912 253-04-13, mkarpukhin@yandex.ru

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

The prospects of growing large-herb plants as carbon-depositing crops

E. P. Artemyeva^{1,2}, V. V. Valdayskikh¹✉, T. A. Radchenko¹, M. Yu. Karpukhin³

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

²Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

³Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: v_vald@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to study of yield some annual and perennial plant species which were grown in the botanical garden of the Ural Federal University. Plant species with high productivity, resistant to local soil and climatic conditions and promising for carbon sequestration have been identified. **Methods.** The article presents data of fresh and dry yield, carbon content of five species *Amaranthus caudatus* L., *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus hypochondriacus* L., *Polygonum weyrichii* F. Schmidt, *Echinops sphaerocephalus* L. The yield of these crops was measured in the conditions of the Middle Urals. **Results.** The plants *P. weyrichii* had the highest yield. The yield of three amaranth species was due to the C₄ photosynthesis. Amaranths, being drought-resistant plants, are highly productive even in years with a hydrothermal coefficient value of less than 1.0. The plants *E. sphaerocephalus* is a poorly studied species that requires further study. They can be also used to deposit atmospheric carbon and grow on potential carbon farms in the changing climate of the region. In not very favorable climatic conditions in 2022, a potential carbon farm based on the monoculture of the plants *P. weyrichii* can bind up to 9.54 t/ha of carbon, in terms of carbon dioxide – 34.98 CO₂/year per 1 ha. It is significantly higher than the level of sequestration of carbon dioxide of most trees. These values can increase by 1.5–2 times in the best climatic conditions or with additional watering. **The scientific novelty** lies in the fact that these plants can be used not only for fodder purposes, but also for atmospheric carbon deposition in the changing climate of region.

Keywords: amaranth, *Echinops sphaerocephalus*, *Polygonum weyrichii*, large-herb plants, yield, carbon farms, carbon sequestration.

For citation: Artemyeva E. P., Valdayskikh V. V., Radchenko T. A., Karpukhin M. Yu. Perspektivy vyrashchivaniya vysokotravnnykh rasteniy v kachestve ugleroddeponiruyushchikh kul'tur [The prospects of growing large-herb plants as carbon-depositing crops] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-2-10. (In Russian.)

Date of paper submission: 15.11.2022, **date of review:** 25.11.2022, **date of acceptance:** 30.11.2022.

References

1. Okoneshnikova T. F., Stephanovich G. S., Valdayskikh V. V., Rymar V. P., Mikhailishchev R. V., Paltusova M. V. Introduction of new plant species for the practical uses in the Middle Urals // AIP Conference Proceedings. Ekaterinburg, 2022. Vol. 2390. Iss. 1. Article number 030068. DOI: 10.1063/5.0069400.
2. WFO (2022): World Flora Online [e-resource]. URL: <http://www.worldfloraonline.org> (date of reference: 05.11.2022).
3. Gasimova G. A., Degtyareva I. A. Ekologo-fiziologicheskie osobennosti fitomassy amaranta pri introduktsii v Respublike Tatarstan [Ecological and physiological properties of amaranth phytomass during introduction in the Republic of Tatarstan] // Academic notes of Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. Bauman. 2020. No. 241 (1). Pp. 58–61. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-241-1-58-61. (In Russian.)
4. Paredes-López O. Amaranth biology, chemistry, and technology [e-resource]. CRC Press, 2018. 223 p. URL: <http://www.tandfebooks.com/doi/book/10.1201/9781351069601>. DOI: 10.1201/9781351069601 (date of reference: 05.11.2022).
5. Valdayskikh V. V., Artemyeva E. P., Karpukhin M. Yu., Mikhailishchev R. V. Comparative yield of large-herb plants when grown in the Middle Urals [e-resource] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. 11 (214). Pp. 2–7. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-2-7.
6. Dmitrieva O., Ivanov S. Comparative study of amaranth species (*Amaranthus* ssp.) in the temperate continental climate of Russian Federation // Acta agriculturae Slovenica. 2020. No. 115/1. Pp. 15–24. DOI: 10.14720/aas.2020.115.1.1281.

7. Li T. X., Zhang F., Jiao Y. Y., Zhang M. J., Chang Y. H., Matomela N. Study on carbon sequestration capacity of typical crops in Northern China // *Journal of Plant Biology*. 2019. No. 62 (3). Pp. 195–202. DOI: 10.1007/s12374-018-0401-3.
8. Valdayskikh V. V., Voronin P. Yu., Artemyeva E. P., Rymar V. P. Amaranth responses to experimental soil drought // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2063. Article number 030023. DOI: 10.1063/1.5087331.
9. Artemyeva E. P., Valdayskikh V. V., Radchenko T. A., Belyaeva P. A. *Amaranthus* phenology during its introduction in the Middle Urals // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2063. Article number 030002. DOI: 10.1063/1.5087310.
10. Assad R., Reshi Z. A., Jan S., Rashid I. Biology of Amaranths // *Botanical Review*. 2017. No. 83 (4). Pp. 382–436. DOI: 10.1007/s12229-017-9194-1.
11. Efremov V. V. Produktivnost' gortsa Veyrikha v polevom kormoproizvodstve [Productivity of the Polygonum weyrichii in field forage production] // *Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva*. 2018. No. 20. Pp. 30–32. (In Russian.)
12. Chupina M. P., Stepanov A. F. Assessment of photosynthetic productivity of new perennial forage crops in forest-steppe conditions of Western Siberia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 624. Article number 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012121.
13. Kurhak V. H., Tkachenko M. A., Asanishvili N. M., Moisiienko V. V., Holodna A. V., Tkachenko A. M., Slyusar S. M., Ptashnik M. M., Kolomiets L. P., Tymbal Ya. S., Oksymets O. L., Kulyk R. M., Panchyshyn V. Z., Stotska S. V., Sladkovska T. A. Energy productivity of uncommon herbs for solid fuel manufacturing // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. No. 11 (1). Pp. 299–305. DOI: 10.15421/2021_45.
14. Wang C., Tang Y. J., Li X. N., Zhang W. W., Zhao C. Q., Li C. Negative impacts of plant diversity loss on carbon sequestration exacerbate over time in grasslands // *Environmental Research Letters*. 2020. No. 15 (10). Article number 104055. DOI: 10.1088/1748-9326/abaf88.
15. Wang Y. N., Chang Q., Li X. Y. Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 64. Article number 127291. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127291.
16. Korres N. E., Dayan F. Effects of climate change on crops and weeds: The need for climate-smart adaptation paradigm // *Outlooks on Pest Management*. 2020. Vol. 31 (5). Pp. 210–215. DOI: 10.1564/v31_oct_04.

Authors' information:

Elena P. Artemyeva^{1,2}, candidate of biological sciences, lead engineer of the botanical garden¹, associate professor of Natural Sciences Department², ORCID 0000-0003-0937-460X, AuthorID 262616; +7 912 226-19-80, epartemyeva@urfu.ru

Viktor V. Valdayskikh¹, candidate of biological sciences, director of the botanical garden, ORCID 0000-0001-9440-8522, AuthorID 142640; +7 912 277-07-22, v_vald@mail.ru

Tatyana A. Radchenko¹, candidate of biological sciences, director of department of earth and space sciences, ORCID 0000-0003-4135-2902, AuthorID 148570; +7 953 044-25-62, tatiana.radchenko@urfu.ru

Mikhail Yu. Karpukhin³, candidate of agricultural sciences, vice rector for scientific work and innovations, ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196; +7 912 253-04-13, mkarpuhin@yandex.ru

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

²Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

³Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Распространенность грибной инфекции на семенах озимой пшеницы в условиях Среднего Поволжья

М. Н. Кинчарова¹✉, А. И. Кинчаров¹, М. Р. Абдряев¹

¹ Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Кинель, Россия

✉ E-mail: potatolab@mail.ru

Аннотация. Цель работы – исследовать состав патогенной микрофлоры, ассоциированной с семенами озимой мягкой пшеницы, полученными в условиях Самарской области. **Методология и методы исследования.** В лаборатории инновационных технологий в селекции, семеноводстве и семеноведении исследованы семена 10 сортов и линий конкурсного сортоиспытания лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН, расположенного в центральной почвенно-климатической зоне Самарской области. Заселенность семян патогенными грибами определяли методом рулонов по методике ГОСТ 12044-93 и последующим микроскопированием. **Результаты.** Диагностика, анализ погодных условий, научные познания причин возникновения болезни и особенности развития патогена являются важными факторами успешного проведения защитных и профилактических мер как в отношении распространенных болезней, так и в отношении новых форм, мало распространенных в регионе на данном этапе. В результате изучения, проведенного нами в 2019–2020 гг., выявлена высокая степень зараженности семян грибами на естественном инфекционном фоне (без протравливания). Доминирующими на семенах изученных образцов озимой мягкой пшеницы за три года исследований являются грибы: *Alternaria sp.* (с процентной частотой встречаемости от 0,5 до 35,0 % и относительной распространенностью от 0,7 % до 56,5 %, *Fusarium sp.* (с процентной частотой встречаемости от 2 до 45,5 %, и относительной распространенностью от 4,1 % до 67,4 % соответственно) и группа грибов, вызывающих плесневение семян (*Cladosporium sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.* и др.). Различия в частоте встречаемости определенного гриба и вида, обнаруживаемых на семенах озимой мягкой пшеницы в разные годы, свидетельствуют о высокой зависимости показателей от количества выпавших осадков, относительной влажности воздуха и температурных условий вегетационного периода. **Научная новизна.** Проведена фитопатологическая оценка семян применительно к условиям Самарской области и установлен патогенный комплекс грибов, ассоциированный с семенами озимой пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, грибы, семенная инфекция, патоген, процентная частота встречаемости, относительная распространенность.

Для цитирования: Кинчарова М. Н., Кинчаров А. И., Абдряев М. Р. Распространенность грибной инфекции на семенах озимой пшеницы в условиях Среднего Поволжья // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 11–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-11-22.

Дата поступления статьи: 09.09.2022, **дата рецензирования:** 08.10.22, **дата принятия:** 10.10.22.

Постановка проблемы (Introduction)

Получение высокого урожая любой сельскохозяйственной культуры в первую очередь зависит от использования качественных и здоровых семян. В семенах заложена генетическая программа дальнейшего развития растения, его биологические требования к агроэкологическим ресурсам в период прорастания семян и последующего формирования всходов [1, с. 37]. Следует отметить, что здоровье и качество семян определяются не только генети-

ческими особенностями сорта, но и условиями формирования семенного материала в период вегетации растений, в том числе и уровнем развития болезней и вредителей в посевах. Необходимо констатировать, что в последнее время сельскохозяйственные культуры все чаще страдают от различных болезней, в том числе и грибного происхождения, среди которых часто наблюдаются и мало распространенные в регионе виды. В зависимости от складывающихся абиотических и биотических

условий в агроценозе как в течение одного вегетационного периода, так и в различные годы заболевания на растениях могут развиваться одновременно или последовательно друг за другом, приводя к нарушению процесса формирования урожая. При этом переход на энерго- и ресурсосберегающие технологии выращивания культур, связанные с отказом от вспашки, приводит к усугублению данного процесса путем накопления в верхних слоях почвы растительных остатков, способствующих большему развитию фитопатогенной инфекции, которая в том числе аккумулируется и на формирующихся семенах. Как показывают исследования, научный подбор фунгицидов и качественное протравливание семян при этом обеспечивают надежную защиту растений от возбудителей болезней в основном до фазы кущения. А дальше растения остаются незащищенными и заражаются фитопатогенной инфекцией, присутствующей на поверхности почвы и растительных остатках. Поэтому, несмотря на то что хозяйства постоянно проводят протравливание семян, фитосанитарная обстановка на полях в период вегетации остается весьма сложной [2, с. 2] и даже усугубляется при наложении неблагоприятных погодных факторов. Необходимо также учитывать и то, что семенное зерно состоит в основном из крахмала, белка и небольшой доли жира, что делает его идеальной питательной средой для патогенов, передающихся семенами. Практически 60 % бактериальных и грибных патогенов способны передаваться через семена, а использование на посев зараженных семян будет способствовать передаче болезней вегетирующим растениям, создавая новые очаги инфекции в поле. Согласно литературным данным, семена являются одним из основных постоянных источников накопления и сохранения инфекции зерновых культур [3, с. 6].

Качество семян и посевного материала в значительной степени определяется их всхожестью, энергией прорастания, жизнеспособностью проростков, посевной годностью и рядом других показателей. Необходимо отметить, что в полевых условиях любая инфекция в той или иной мере нарушает биохимические процессы в растениях и приводит к частичной гибели растений, особенно в первой половине вегетации, что в итоге скажется на урожайности и качестве продукции [4, с. 237]. Некоторые сапротрофные грибы (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium* и другие) при определенных почвенно-климатических условиях формирования фитоценоза могут переходить к паразитированию и частично или полностью изменять физические свойства и химический состав зерна. В то же время необходимо учитывать, что они, как и паразитные грибы, способны причинять значительный ущерб и во время хранения зерна, снижая его качество, а иногда вызывая полную гибель и порчу.

Потери урожая зерна при сплошном заселении колоса даже сапротрофными организмами могут составлять 80 %, при частичном – до 32 %. К тому же сильное развитие грибов и образование продуктов их жизнедеятельности может сделать зерно токсичным [5, с. 81; 6, р. 7].

Не зараженные патогенами семена имеют большое значение для получения качественных, дружных всходов и дальнейшего формирования здоровой популяции растений. Ранняя диагностика патогенов, переносимых семенами, необходима для своевременного лечения заболеваний и профилактики эпифитотий. Также важно провести исследование здоровья семян, чтобы предотвратить распространение многих болезней, переносимых семенами, на новые территории [7, р. 31]. Своевременная и специализированная диагностика, знание причин возникновения болезни, особенности развития того или иного патогена на сортовом уровне являются фундаментом успешного проведения защитных и профилактических мероприятий в сортовых технологиях [8, с. 108; 9, с. 2; 10, р. 185]. Поэтому одним из способов достижения стабильных и высоких урожаев является использование высококачественного, сертифицированного посевного материала, свободного от патогенных и плесневых грибов. Качественные семена лучших районированных сортов – это основа будущего урожая [11, р. 1].

Семенные грибные инфекции являются одной из наиболее важных биотических проблем в семеноводстве во всем мире. Они ответственны как за предшествующую, так и за последующую гибель зерен, влияют на энергию прорастания и, таким образом, вызывают снижение всхожести, а также изменения в развитии растений [12, р. 314; 13, р. 200]. Виды грибов, такие как *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* и *Alternaria*, являются основными загрязнителями зерновых злаков. Из большого количества патогенов растений, передающихся семенами, грибы являются наиболее опасными и вредными для зерновой промышленности даже по сравнению с бактериями и нематодами [14, р. 505; 15, р. 6292] и вторыми по вредности для зерна пшеницы после насекомых [16, р. 4328].

Многими исследователями, изучавшими микофлору пшеницы, которая может передаваться семенами, выделялись в различных регионах следующие виды: *Alternaria alternata*, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium moniliforme*, *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. nivale*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. sporotrichioides*, *Cladosporium herbarum*, *Stemphylium botryosum* [7, р. 32; 17, р. 451; 18, р. 499]; также довольно часто из семян пшеницы выявлялись *Absidia sp.*, *Aspergillus sp.*, *A. candidus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. sulphureus*, *Chaetomium globosum*, *Cephalosporium sp.*, *Curvularia lunata*, *Drechslera halodes*, *D. hawaiiensis*, *D. tetramera*, *F. oxysporum*, *F. pallidoroseum*,

F. subglutinans, *Penicillium* sp., *Rhizoctonia solani* и *Rhizopus* sp. [19, p. 187], *Stemphylium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Gonatotryps* и *Nigrospora* [15, p. 6293].

Поэтому до посева семена пшеницы и других культур должны быть исследованы на наличие патогенной микрофлоры для принятия решения о целесообразности высевания семян в случае сильного заражения для предотвращения дальнейшей потери урожая и качества продукции. Поскольку в долгосрочной перспективе семена являются факторами хорошего урожая, они должны быть всесторонне изучены [20, p. 288], в том числе и с целью получения экологически чистой продукции, поиска источников устойчивости и устойчивых к различным заболеваниям перспективных и продуктивных сортов [21, p. 559; 22, p. 1019].

Для понимания статуса грибных патогенов, передающихся через семена и заражающих пшеницу, местным сельхозпроизводителям необходима информация о степени их распространения для эффективного применения методов борьбы. Поэтому целью данного исследования – выявить и изучить микрофлору, ассоциированную с семенами сортов и линий озимой мягкой пшеницы селекции Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН, для дальнейшего повышения их фитосанитарных и посевных качеств с целью оптимизации технологии возделывания культуры в лесостепи Среднего Поволжья.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа проводилась в лаборатории инновационных технологий в селекции, семеноводстве и семеноведении и лаборатории озимой пшеницы Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН. В качестве объекта изучения использовался семенной материал 10 сортов и линий озимой мягкой пшеницы собственной селекции урожая 2018–2020 гг., выращенных на естественном инфекционном фоне, без применения предпосевной обработки семян протравителями. Для установления зараженности семян зерна озимой пшеницы анализ проводили по ГОСТ 12044-93¹ методом рулонов. Первичная идентификация грибов, выросших на семенах пшеницы, проводилась на основе их типичных характеристик колоний и конидиальной морфологии в соответствии с методиками Пидопличко [23] и Билай [24] при прямом исследовании материала с помощью стереомикроскопа Olympus SZ51 и микроскопа отраженного света Nikon Eclipse E200.

После инкубации в течение 7 дней при 24 ± 2 °С грибы, сформировавшие споронии на поверхности семян, идентифицировали и рассчитывали их процентную частоту (PF) встречаемости и отно-

сительную распространенность (RA) по формулам Naqvi et al. [25, p. 108] и Adhikari et al. [7, p. 32]:

$$PF = (\text{количество семян, на которых появился гриб}) / \text{общее число семян} \times 100.$$

$$RA = (\text{количество семян, пораженных конкретным грибом}) / (\text{общее число семян, пораженных грибами}) \times 100.$$

Результаты (Results)

Результаты исследования показали, что все проанализированные образцы озимой мягкой пшеницы, выращенные в условиях изучаемых лет, были в той или иной степени заражены грибным патогенным комплексом, включающим как сапрофитные, так и паразитные виды (таблица 1). Согласно полученным данным, зараженность семян существенно различается в зависимости от сорта и погодных условий года формирования урожая. Лучшим состоянием здоровья и меньшей заселенностью отличались семена урожая 2018 г., где зараженность их составляла 40,7 % в среднем по всем сортам. Высокая инфекционная нагрузка на семенах по фитопатологической оценке отмечена в 2020 г. – 57,9 %, что почти в полтора раза выше, чем в 2018 г. Однако самой высокой она была в неблагоприятном по влагообеспеченности и по температурному режиму 2019 г., который характеризовался хорошим увлажнением и высокими температурами воздуха до колошения и сильной засухой второй половины вегетации на фоне несколько пониженных температур. В этих условиях зараженность семян урожая 2019 года увеличилась в среднем по всем сортам почти в 1,5 раза по сравнению с предыдущим 2018 г. и достигла 59,0 %.

Наиболее здоровые семена озимой пшеницы в условиях вегетации 2017–2018 гг. были сформированы у сортов Поволжская нива и Велютинум 3602. В условиях контрастных изменений уровня увлажнения и температурного фона в различные фазы развития растений с урожая 2019 г. выделились сорта Поволжская нива и Константиновская, а с урожая 2020 г. – Поволжская 86 и Лютесценс 3752. Несмотря на существенное влияние погодных условий на сортовую специфику зараженности семян, необходимо отметить, что в среднем за 3 года более здоровые семена были получены у сортов Поволжская нива и Велютинум 3602.

В условиях 2019 г. наиболее сильным заселением микрофлорой отличались семена сортов Бирюза, Кинельская 4 и Лютесценс 3752, а в 2020 г. – Поволжская новь, Лютесценс 3817 и Константиновская.

При изучении зараженности семян нами был также проведен анализ на наличие семян с симптомами черного зародыша и проростков с признаками поражения корневой гнилью.

Среднее поражение семян озимой пшеницы чернотой зародыша во все годы исследования было невелико и составило в урожае 2018 г. менее

¹ ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). Москва: Стандартинформ, 2011. 55 с.

0,1 %, в 2019 – 1,4 %, в 2020 г. – 0,4 % (таблица 1). На семенах урожая 2019 г. было выявлено несколько больше зерен с черным зародышем, что можно объяснить неблагоприятными условиями в период созревания и налива зерна в связи с тем, что в этот период отмечались резкие колебания дневных и ночных температур воздуха со значительно низкими значениями в ночные часы (до 6–7 °С). Амплитуды колебаний суточной температуры в некоторые дни составляли 23–25 °С. Такие условия сопровождались жесткой атмосферной засухой.

Анализ на выявление проростков с признаками корневой гнили показал, что не всегда на стадии прорастания семян проявляются типичные признаки болезни у зерен с достаточно сильной заселенностью колониями грибов возбудителей. В исследованиях выявлено, что не у всех сортов и линий с самой высокой степенью колонизации семян гри-

бами отмечались признаки корневой гнили. Самый низкий процент встречаемости проростков с признаками корневой гнили в изучаемом наборе сортов был в 2020 г. – 10,4 %, в 2019 г. он был на 6,6 % выше, чем в 2020, и составил 17,0 %, а в 2018 г. он оказался самым высоким – 18,4%. Здесь можно заметить, что общая зараженность семян патогенами по годам не связана с процентным содержанием проростков с признаками корневой гнили. Скорее можно отметить связь между частотой встречаемости на семенах комплекса грибов, являющихся возбудителями корневых гнилей (*Bipolaris*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Rhizoctonia*) и симптомами на проростках. Ранее отмечалось, что, как правило, признаки корневой гнили отмечаются в том случае, если колония тех или иных грибов возникает прямо в зоне проростка или в непосредственной близости с ним [26, с. 27; 27, р. 325].

Таблица 1
Фитопатологическая оценка (%) семян озимой пшеницы

Сорт	Чернота зародыша	Здоровых семян	Семян, зараженных патогенами	Проростки с признаками корневой гнили
2018 год				
Бирюза	0	60,0	40,0	11,0
Поволжская 86	0,1	52,0	48,0	17,0
Кинельская 4	0	60,0	40,0	14,0
Лютесценс 3585	0	59,0	41,0	13,0
Поволжская нива	0	73,0	27,0	13,0
Поволжская новь	0,1	56,0	44,0	22,0
Лютесценс 3817	0	58,0	42,0	25,0
Лютесценс 3752	0	57,0	43,0	34,0
Велютинум 3602	0	63,0	37,0	21,0
Константиновская	0,4	55,0	45,0	14,0
Среднее	0,06	59,3	40,7	18,4
2019 год				
Бирюза	1,0	34,0	66,0	17,0
Поволжская 86	0	39,0	61,0	16,0
Кинельская 4	1,0	35,0	65,0	26,0
Лютесценс 3585	0	46,0	54,0	12,0
Поволжская нива	0	51,0	49,0	11,0
Поволжская новь	5,0	37,0	63,0	18,0
Лютесценс 3817	2,0	47,0	53,0	12,0
Лютесценс 3752	0	32,0	68,0	29,0
Велютинум 3602	1,0	38,0	62,0	22,0
Константиновская	4,0	51,0	49,0	7,0
Среднее	1,4	41,0	59,0	17,0
2020 год				
Бирюза	2,0	50,0	50,0	6,5
Поволжская 86	0	51,0	49,0	15,0
Кинельская 4	0	42,0	58,0	13,0
Лютесценс 3585	0	40,5	59,5	11,5
Поволжская нива	0	40,0	60,0	11,5
Поволжская новь	0	34,0	66,0	8,5
Лютесценс 3817	1,0	33,5	66,5	11,0
Лютесценс 3752	0	52,0	48,0	10,5
Велютинум 3602	0	45,5	54,5	10,0
Константиновская	1,0	32,5	67,5	6,0
Среднее	0,4	42,1	57,9	10,4

Table 1

Phytopathological evaluation (%) of winter wheat seeds

Variety	Blackness of the germ	Healthy seeds	Seeds infected with pathogens	Seedlings with signs of root rot
2018				
<i>Biryuza</i>	0	60.0	40.0	11.0
<i>Povolzhskaya 86</i>	0.1	52.0	48.0	17.0
<i>Kinel'skaya 4</i>	0	60.0	40.0	14.0
<i>Lyutestsens 3585</i>	0	59.0	41.0	13.0
<i>Povolzhskaya niva</i>	0	73.0	27.0	13.0
<i>Povolzhskaya nov'</i>	0.1	56.0	44.0	22.0
<i>Lyutestsens 3817</i>	0	58.0	42.0	25.0
<i>Lyutestsens 3752</i>	0	57.0	43.0	34.0
<i>Velyutinum 3602</i>	0	63.0	37.0	21.0
<i>Konstantinovskaya</i>	0.4	55.0	45.0	14.0
Average	0.06	59.3	40.7	18.4
2019				
<i>Biryuza</i>	1.0	34.0	66.0	17.0
<i>Povolzhskaya 86</i>	0	39.0	61.0	16.0
<i>Kinel'skaya 4</i>	1.0	35.0	65.0	26.0
<i>Lyutestsens 3585</i>	0	46.0	54.0	12.0
<i>Povolzhskaya niva</i>	0	51.0	49.0	11.0
<i>Povolzhskaya nov'</i>	5.0	37.0	63.0	18.0
<i>Lyutestsens 3817</i>	2.0	47.0	53.0	12.0
<i>Lyutestsens 3752</i>	0	32.0	68.0	29.0
<i>Velyutinum 3602</i>	1.0	38.0	62.0	22.0
<i>Konstantinovskaya</i>	4.0	51.0	49.0	7.0
Average	1.4	41.0	59.0	17.0
2020				
<i>Biryuza</i>	2.0	50.0	50.0	6.5
<i>Povolzhskaya 86</i>	0	51.0	49.0	15.0
<i>Kinel'skaya 4</i>	0	42.0	58.0	13.0
<i>Lyutestsens 3585</i>	0	40.5	59.5	11.5
<i>Povolzhskaya niva</i>	0	40.0	60.0	11.5
<i>Povolzhskaya nov'</i>	0	34.0	66.0	8.5
<i>Lyutestsens 3817</i>	1.0	33.5	66.5	11.0
<i>Lyutestsens 3752</i>	0	52.0	48.0	10.5
<i>Velyutinum 3602</i>	0	45.5	54.5	10.0
<i>Konstantinovskaya</i>	1.0	32.5	67.5	6.0
Average	0.4	42.1	57.9	10.4

За последние десятилетия было проведено много исследований по выявлению переносимых с семенами болезней пшеницы во всем мире. Clear и Patrick'Can (1993) сообщали о выделенных из образцов зерна пшеницы 35 родах грибов с 59 видами, наиболее важные из которых – *Alternaria*, *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium graminearum*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Nigrospora* и *Septoria nodorum* [7, p. 32], *Curvularia*, *Stemphylium*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Gonatotryps*, *Ulocladium*. Khan (1992) сообщал, что 17 родов и 45 видов грибов, переносимых семенами культурных растений, были связаны с семенами пшеницы в Пакистане. В Иране микофлора хранящегося зерна включала грибы *Alternaria alternata*, *A. flavus*, *A. niger*, *Ulocladium alternariae*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium proliferatum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Rhizopus* и *Penicillium* [28, p. 6291].

На семенах озимой пшеницы нами были выявлены как патогенные, так и слабопатогенные грибы, такие как *Bipolaris*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Stemphylium*, *Rhizoctonia*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium* и *Nigrospora*. Было установлено, что среди всех грибов, выявленных на семенах изучаемых сортов и линий пшеницы, преобладали грибы родов *Alternaria sp.* и *Fusarium sp.*, причем уровень их доминирования менялся по годам (таблица 2).

В 2018 г. семена чаще всего были инфицированы грибами *Fusarium sp.* (частота встречаемости – 16,4 %, относительная распространенность – 40,7 %) и *Alternaria sp.* (12,5 % и 31,4 % соответственно). В 2019 г. в подавляющем большинстве доминировали грибы рода *Alternaria* (25,5 % и 40,8 %). Вторыми по частоте встречаемости были грибы, вызывающие плесневение семян, с относительной

распространенностью 25,7 %. Грибы *Fusarium* в условиях 2019 г. были менее распространены, чем в предыдущий год (8,9 % и 14,5 % соответственно). В 2020 г. доминировали *Fusarium* – 21,7 % (с относительной распространенностью 36,2 %) и другие плесневые грибы – 17,1 % (30,3 %), а грибы *Alternaria sp.* отмечены в среднем на 5,6 % семян с относительной распространенностью 9,8 %. Замечено, что во все годы исследований довольно сильное заселение семян колониями грибов *Alternaria sp.* отмечалось на сортах Велютинум 3602 (опушенный колос) и Лютеценс 3752.

В наших исследованиях было отмечено, что один из главных возбудителей корневых гнилей *Bipolaris sorokiniana* отмечался на семенах изучаемых сортов нечасто: из 3 лет изучения он был выявлен только в 2019 г. в среднем на 4,4 % от всех просмотренных семян. Группа грибов, вызывающих плесневение семян, чаще всего была представлена грибами рода *Cladosporium sp.* и представителями порядка *Mucorales* (родов *Mucor* и *Rhizopus*), гораздо реже встречались *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.* и *Trichothecium roseum*.

Таблица 2

Частота встречаемости и относительная распространенность патогенных грибов на семенах озимой пшеницы, %

Сорт	Процентная частота встречаемости (PF)					Относительная распространенность (RA)				
	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Alternaria sp.</i>	<i>Rhizoctonia sp.</i>	* Другие плесневые грибы	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Alternaria sp.</i>	<i>Rhizoctonia sp.</i>	* Другие плесневые грибы
2018 год										
Бирюза	0	18,0	13,0	4,0	5,0	0	45,0	32,5	10,0	12,5
Поволжская 86	0	21,0	9,0	11,0	7,0	0	43,8	18,8	22,9	14,5
Кинельская 4	0	21,0	11,0	1,0	7,0	0	52,5	27,5	2,5	17,5
Лютеценс 3585	0	13,0	13,0	12,0	2,0	0	31,7	31,7	29,3	4,9
Поволжская нива	0	14,0	10,0	2,0	0	0	51,9	37,0	7,4	0
Поволжская новь	0	16,0	12,0	13,0	2,0	0	36,4	27,3	29,5	4,5
Лютеценс 3817	0	14,0	12,0	9,0	5,0	0	33,3	28,6	21,4	11,9
Лютеценс 3752	0	14,0	19,0	8,0	2,0	0	32,6	44,2	18,6	4,6
Велютинум 3602	0	13,0	18,0	1,0	5,0	0	35,1	48,6	2,7	13,6
Константиновская	0	20,0	8,0	11,0	6,0	0	44,4	17,8	24,4	13,4
Среднее	0	16,4	12,5	7,2	4,1	0	40,7	31,4	16,9	9,7
2019 год										
Бирюза	10,0	13,0	18,0	5,0	16,0	15,2	19,7	27,3	7,6	24,2
Поволжская 86	2,0	3,0	31,0	2,0	20,0	3,3	4,9	50,8	3,3	32,8
Кинельская 4	5,0	24,0	15,0	2,0	13,0	7,7	36,9	23,1	3,1	20,0
Лютеценс 3585	4,0	8,0	20,0	3,0	16,0	7,4	14,8	37,0	5,6	29,6
Поволжская нива	6,0	2,0	28,0	3,0	7,0	12,2	4,1	57,1	6,1	14,3
Поволжская новь	3,0	12,0	29,0	0	18,0	4,8	19,0	46,0	0	28,6
Лютеценс3817	3,0	5,0	26,0	2,0	15,0	5,7	9,4	49,1	3,8	28,3
Лютеценс 3752	8,0	9,0	30,0	1,0	14,0	11,8	13,2	44,1	1,5	20,6
Велютинум 3602	2,0	9,0	35,0	1,0	12,0	3,2	14,5	56,5	1,6	19,4
Константиновская	1,0	4,0	23,0	0	19,0	2,0	8,2	46,9	0	38,8
Среднее	4,4	8,9	25,5	1,9	15,0	7,3	14,5	40,8	3,3	25,7
2020 год										
Бирюза	0	16,5	3,5	4,5	17,0	0	33,0	7,0	9,0	34,0
Поволжская 86	0,5	11,0	4,5	5,5	23,0	1,0	22,4	9,2	11,2	46,9
Кинельская 4	0	20,0	1,5	6,0	22,5	0	34,5	2,6	10,3	38,8
Лютеценс 3585	0	15,0	5,5	6,5	18,0	0	25,2	9,2	10,9	30,3
Поволжская нива	0	29,0	11,5	3,0	10,0	0	48,3	19,2	5,0	16,7
Поволжская новь	0	36,0	5,5	1,0	13,5	0	54,5	8,3	1,5	20,5
Лютеценс3817	0	21,0	6,5	6,0	20,5	0	31,6	9,8	9,0	30,8
Лютеценс 3752	0	11,5	3,0	5,5	17,0	0	24,0	6,3	11,5	35,4
Велютинум 3602	0	11,5	14,0	3,5	17,0	0	21,1	25,7	6,4	31,2
Константиновская	0	45,5	0,5	3,5	12,5	0	67,4	0,7	5,2	18,5
Среднее	0,05	21,7	5,6	4,5	17,1	0,1	36,2	9,8	8,0	30,3

* Плесневые грибы: *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.*, *Aspergillus sp.* и др.

Table 2

Frequency and relative prevalence of pathogenic fungi on winter wheat seeds, %

Variety	Percentage frequency (PF)					Relative abundance (RA)				
	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Alternaria sp.</i>	<i>Rhizoctonia sp.</i>	* Other mold fungi	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Alternaria sp.</i>	<i>Rhizoctonia sp.</i>	* Other mold fungi
2018										
<i>Biryuza</i>	0	18.0	13.0	4.0	5.0	0	45.0	32.5	10.0	12.5
<i>Povolzhskaya 86</i>	0	21.0	9.0	11.0	7.0	0	43.8	18.8	22.9	14.5
<i>Kinel'skaya 4</i>	0	21.0	11.0	1.0	7.0	0	52.5	27.5	2.5	17.5
<i>Lyutestsens 3585</i>	0	13.0	13.0	12.0	2.0	0	31.7	31.7	29.3	4.9
<i>Povolzhskaya niva</i>	0	14.0	10.0	2.0	0	0	51.9	37.0	7.4	0
<i>Povolzhskaya nov'</i>	0	16.0	12.0	13.0	2.0	0	36.4	27.3	29.5	4.5
<i>Lyutestsens 3817</i>	0	14.0	12.0	9.0	5.0	0	33.3	28.6	21.4	11.9
<i>Lyutestsens 3752</i>	0	14.0	19.0	8.0	2.0	0	32.6	44.2	18.6	4.6
<i>Velyutinum 3602</i>	0	13.0	18.0	1.0	5.0	0	35.1	48.6	2.7	13.6
<i>Konstantinovskaya</i>	0	20.0	8.0	11.0	6.0	0	44.4	17.8	24.4	13.4
Average	0	16.4	12.5	7.2	4.1	0	40.7	31.4	16.9	9.7
2019										
<i>Biryuza</i>	10.0	13.0	18.0	5.0	16.0	15.2	19.7	27.3	7.6	24.2
<i>Povolzhskaya 86</i>	2.0	3.0	31.0	2.0	20.0	3.3	4.9	50.8	3.3	32.8
<i>Kinel'skaya 4</i>	5.0	24.0	15.0	2.0	13.0	7.7	36.9	23.1	3.1	20.0
<i>Lyutestsens 3585</i>	4.0	8.0	20.0	3.0	16.0	7.4	14.8	37.0	5.6	29.6
<i>Povolzhskaya niva</i>	6.0	2.0	28.0	3.0	7.0	12.2	4.1	57.1	6.1	14.3
<i>Povolzhskaya nov'</i>	3.0	12.0	29.0	0	18.0	4.8	19.0	46.0	0	28.6
<i>Lyutestsens 3817</i>	3.0	5.0	26.0	2.0	15.0	5.7	9.4	49.1	3.8	28.3
<i>Lyutestsens 3752</i>	8.0	9.0	30.0	1.0	14.0	11.8	13.2	44.1	1.5	20.6
<i>Velyutinum 3602</i>	2.0	9.0	35.0	1.0	12.0	3.2	14.5	56.5	1.6	19.4
<i>Konstantinovskaya</i>	1.0	4.0	23.0	0	19.0	2.0	8.2	46.9	0	38.8
Average	4.4	8.9	25.5	1.9	15.0	7.3	14.5	40.8	3.3	25.7
2020										
<i>Biryuza</i>	0	16.5	3.5	4.5	17.0	0	33.0	7.0	9.0	34.0
<i>Povolzhskaya 86</i>	0.5	11.0	4.5	5.5	23.0	1.0	22.4	9.2	11.2	46.9
<i>Kinel'skaya 4</i>	0	20.0	1.5	6.0	22.5	0	34.5	2.6	10.3	38.8
<i>Lyutestsens 3585</i>	0	15.0	5.5	6.5	18.0	0	25.2	9.2	10.9	30.3
<i>Povolzhskaya niva</i>	0	29.0	11.5	3.0	10.0	0	48.3	19.2	5.0	16.7
<i>Povolzhskaya nov'</i>	0	36.0	5.5	1.0	13.5	0	54.5	8.3	1.5	20.5
<i>Lyutestsens 3817</i>	0	21.0	6.5	6.0	20.5	0	31.6	9.8	9.0	30.8
<i>Lyutestsens 3752</i>	0	11.5	3.0	5.5	17.0	0	24.0	6.3	11.5	35.4
<i>Velyutinum 3602</i>	0	11.5	14.0	3.5	17.0	0	21.1	25.7	6.4	31.2
<i>Konstantinovskaya</i>	0	45.5	0.5	3.5	12.5	0	67.4	0.7	5.2	18.5
Average	0.05	21.7	5.6	4.5	17.1	0.1	36.2	9.8	8.0	30.3

* Mold fungi: *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.*, *Aspergillus sp.* et al.

Следует отметить, что в условиях неблагоприятных погодных условий вегетационного периода 2019 и 2020 гг. на семенах озимой пшеницы отмечались грибы рода *Nigrospora*, вызывающие нигроспороз различных культур (в нашей зоне в основном кукурузы и сорго), на 3,3 % и 1,7 % семян соответственно. Причем следует заметить, что на

семенах обычно отмечались представители двух видов этого рода: *Nigrospora oryzae* и *Nigrospora sphaerica*, но гораздо чаще отмечались *Nigrospora oryzae*. И хотя эти виды грибов являются неспецифичными для зерновых злаков, вызывает опасение их присутствие как на семенах, так и на вегетирующих растениях пшеницы.

Yuanyuan Hao et. al. [29, p. 181] сообщали в своих исследованиях, что среди пяти видов *Nigrospora* три – *N. oryzae*, *N. osmanthi* и *N. sphaerica* – часто регистрировались как патогенные на более широком спектре растений-хозяев. Несмотря на то что патогенное поведение *N. oryzae* является заметным, в большинстве случаев он идентифицируется как слабый патоген. Расселению спор *Nigrospora* способствуют ветер, брызги дождя и насекомые-переносчики, что приводит к быстрому распространению болезни. Была выдвинута гипотеза, что муцилагинное вещество, которое было отмечено на спорах, облегчает прилипание к субстрату хозяина или к переносчику, такому как клещи, и является успешным механизмом рассеивания спор.

Поскольку инфекции *Nigrospora* легко возникают на ослабленных или поврежденных растениях, передача спор через переносчиков является дополнительным преимуществом при распространении болезни.

Nigrospora sphaerica, выделенная Yuanyuan Hao et. al. из пятен на листьях, веточках и побегах черники (*Vaccinium corymbosum*), была идентифицирована как патоген, который проникает в растение-хозяин через раны, нанесенные насекомыми или вызванные абиотическими повреждениями. Ранее считалось, что *Nigrospora* ограничена однодольными хозяевам, но более поздние исследования показали, что она может встречаться на разнообразных хозяевах, а ее патогенность вызывает озабоченность в агрономии [29, p. 181]. В связи с наблюдаемыми существенными изменениями погодных условий в регионе [30, с. 28] патогенный комплекс на культуре озимой пшеницы в ближайшее десятилетие дополнится новыми видами.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Общепризнано, что производство пшеницы в обозримом будущем должно быть значительно увеличено, чтобы удовлетворить потребности в питании растущей численности населения. Сертифицированный и здоровый семенной материал является важным вкладом в производство сельскохозяйственных культур, поэтому снижение потерь урожая, вызванных грибами, переносимыми с семенами, является одним из способов обеспечения продовольственной безопасности в мире.

Наши результаты показывают, что в условиях Самарской области заражение семян озимой мягкой пшеницы патогенными грибами находится в достаточно сильной зависимости от сорта и погодных условий года. На исследованных образцах зерна урожая 2018–2020 гг. доминировали грибы *Alternaria sp.* (с процентной частотой встречаемости от 0,5 до 35 % и относительной распространенностью от 0,7 и 56,5 %), *Fusarium sp.* (от 2 до 45,5 % и от 4,1 до 67,4 % соответственно), а также группа грибов, вызывающих плесневение семян.

В связи с применением в последние годы энерго- и ресурсосберегающих технологий и отказом от вспашки все больше нарастает численность и патогенность грибов на семенах зерновых злаков и других культур, поэтому считаем необходимым проведение дополнительных исследований для определения экономической значимости заболеваний пшеницы, передающихся через семена, поскольку потери урожая, вызванные этими грибными патогенами, еще не полностью исследованы в нашем регионе.

Библиографический список

1. Торопова Е. Ю. Фитоэкспертиза семян как фактор оптимизации технологии посева зерновых колосовых культур и льна в Курганской области // Вестник Курганской ГСХА. 2012. № 2. С. 37–40.
2. Назарова Л. Н., Соколова Е. А. Прогрессирующие болезни зерновых культур // Агро XXI. 2000. № 4. С. 2–3.
3. Лавринова В. А., Полунина Т. С., Леонтьева М. П. Фитопатогенная микобиота семян на районированных сортах ячменя в ЦЧЗР / Современные проблемы агроэкологии: материалы IV международной научно-практической интернет-конференции. Миколаїв, 2018. С. 6.
4. Митряева Н. А. Семенная инфекция и ее возбудители // Защита растений в современных условиях развития АПК: сборник материалов Национальной научно-практической конференции, приуроченной к открытию ООО «Байер» современной IT-аудитории на факультете агробизнеса и экологии. Орел, 2019. С. 236–239.
5. Лавринова В. А., Полунина Т. С., Гусев И. В. Фунгициды против комплекса микромицетов на семенах озимой пшеницы в северо-восточной части Центрального черноземного региона // International research journal. 2018. № 10 (76). Ч. 1. С. 81–84
6. Otieno P. K., Imbahale S. S., Wekesa V. W., Otipa M., Okoth S. Molecular Determination of Toxigenic Potential of *Fusarium* spp. Isolated from Seeds of Wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes and Evaluation of Levels of Fumonisin in the Grains at Harvest in Three Major Wheat Producing Counties in Kenya // International Journal of Agronomy. 2022. Vol. 2022. Article number 1428312. DOI: 10.1155/2022/1428312.
7. Adhikari P., Khatri-Chhetri G. B., Shrestha S.M., Marahatta S. Study on Prevalence of Mycoflora in Wheat Seeds // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. 2016. No. 4 (1). Pp. 31–35.

8. Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Влияние окраски семян сорго зернового на заселение их патогенной микрофлорой // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 108–113. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-108-113.
9. Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Эффективность предпосевной обработки семян в борьбе с болезнями зернового сорго // Аграрный вестник Урала. 2021. № 09 (212). С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-212-09-2-10.
10. Nguvo K. J., Gao X. Weapons hidden underneath: bio-control agents and their potentials to activate plant induced systemic resistance in controlling crop *Fusarium* diseases // Journal of plant diseases and protection. 2019. No. 126. Pp. 177–190. DOI: 10.1007/s41348-019-00222-y.
11. Zolkin A. L., Matvienko E. V., Shavanov M. V. Innovative technologies in agricultural crops breeding and seed farming // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, 2021. Sci. 677. Article number 022092. DOI: 10.1088/1755-1315/677/2/022092.
12. Lafiandra D., Riccardi G., Peter R. S. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health // Journal of Cereal Science. 2014. No. 59 (3). Pp. 312–326.
13. Piotrowska M., Slizewska K., Biernasiak J. Mycotoxins in cereal and soybean-based food and feed // Soybean – Pest Resistance. London, 2013. Chapter 8. Pp. 185–230. DOI: 10.5772/54470.
14. Majumder D., Rajesh T., Suting E.G., Debbarma A. Detection of seed borne pathogens in wheat: recent trends // Australian Journal of Crop Science. 2013. No. 7 (4). Pp. 500–507.
15. Hajjhasani M., Hajjhasani A., Khaghani S. Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran // African Journal of Biotechnology. 2012. No. 11 (23). Pp. 6290–6295. DOI: 10.5897/AJB11.3838
16. Rehman A., Sultana K., Minhas N., Gulfranz M., Raja G. K., Anwar Z. Study of most prevalent wheat seed-borne mycoflora and its effect on seed nutritional value // African Journal of Microbiology Research. 2011. No. 5 (25). Pp. 4328–4337.
17. Nirenberg H., Schmitz-Elsharif H., Kling C. I. Occurrence of *Fusaria* and some “blackening moulds” on durum wheat in Germany: I. Incidence of *Fusarium* species. Journal of Plant Diseases and Protection. 1994. No. 101 (5). Pp. 449–459.
18. Abdallah-Nekache N., Laraba I., Ducos C. et al. Occurrence of *Fusarium* head blight and *Fusarium* crown rot in Algerian wheat: identification of associated species and assessment of aggressiveness // European Journal of Plant Pathology. 2019. No. 154. Pp. 499–512. DOI: 10.1007/s10658-019-01673-7.
19. Fakhrunnisa, Hashmi M. H., Ghaffar A. Seed borne mycoflora of wheat, sorghum and barley // Pakistan Journal of Botany. 2006. No. 38. Pp. 185–192. [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/38\(1\)/PJB38\(1\)185.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/38(1)/PJB38(1)185.pdf).
20. Seth R. K., Alam S. Screening of fungi from wheat seeds // International Journal of Agricultural. 2015. No. 5 (5). Pp. 287–294.
21. Alabushev A. V., Vozzhova N. N., Kupreyshvili N. T., Shishkin N. V., Marchenko D. M., Ionova E. V. Identification of stem Rust resistance genes in the winter wheat collection from southern Russia // Plants. 2019. Vol. 8. No. 12. Article number 559. DOI: 10.3390/plants8120559.
22. Jevtić R., Skenderović N., Župunski V. et al. Association between yield loss and *Fusarium* head blight traits in resistant and susceptible winter wheat cultivars // Journal of plant diseases and protection. 2020. No. 128. Pp. 1013–1022. DOI: 10.1007/s41348-021-00486-3.
23. Пидопличко Н. М. Грибы-паразиты культурных растений. Определитель. Т. 2. Грибы несовершенные. Киев: Наукова думка, 1977. 300 с.
24. Билай В. И. Фузариин. Киев: Наукова думка, 1977. 443 с.
25. Naqvi S. D. Y., Shiden T., Merhawi W., Mehret S. Identification of seed borne fungi on farmer saved sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds // Agricultural Science Research Journal. 2013. No. 3. Pp. 107–114.
26. Кинчарова М. Н., Кинчаров А. И. Изучение распространенности микофлоры на семенах яровой пшеницы в условиях Самарской области // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 25–29. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp25-29.
27. Saad A., Macdonald B., Martin A., Knight N., Percy C. Comparison of disease severity caused by four soil-borne pathogens in winter cereal seedlings // Crop and Pasture Science. 2021. No. 72. Pp. 325–334. DOI: 10.1071/CP20245.
28. Hajjhasani M., Hajjhasani A., Khaghani S. Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran // African Journal of Biotechnology. 2012. Vol. 11 (23). Pp. 6290–6295. DOI: 10.5897/AJB11.3838.

29. Hao Y., Vishvakeerthi J., Kandawatte T. C., Manawasinghe I., Li X., Liu M., Hyde K. D., Phillips A. J. L., Zhang W. *Nigrospora* Species Associated with Various Hosts from Shandong Peninsula, China // *Mycobiology*. 2020. Vol. 48. Iss. 3. Pp. 169–183. DOI: 10.1080/12298093.2020.1761747.

30. Кинчаров А. И., Демина Е. А. Анализ и краткосрочный прогноз изменения климатических условий в адаптивной селекции яровых зерновых // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 1. С. 23–30. DOI: 10.31857/S2500262722010057.

Об авторах:

Марина Николаевна Кинчарова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в селекции, семеноводстве и семеноведении, ORCID 0000-0002-1987-8708, AuthorID 341952; +7 927 706-04-32, potatolab@mail.ru

Александр Иванович Кинчаров¹, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы, ORCID 0000-0001-5492-8582, AuthorID 644773; +7 927 705-81-71, kincharov_ai@mail.ru

Абдраев Мянсур Равилович¹, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства озимой пшеницы, ORCID 0000-0002-3795-5869, AuthorID 877052; +7 927 013-25-79, alcasar@rambler.ru

¹ Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Кинель, Россия

Prevalence of fungal infection on winter wheat seeds under conditions of the Middle Volga region

M. N. Kincharova¹✉, A. I. Kincharov¹, M. R. Abdryaev¹

¹ Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P. N. Konstantinov – a branch of the Samara Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kinel, Russia

✉ E-mail: potatolab@mail.ru

Abstract. The aim of this work is to investigate the composition of pathogenic mycoflora associated with the seeds of winter soft wheat in the Samara region under laboratory conditions. **Research methodology and methods.** The seeds of 10 varieties and lines of winter soft wheat of competitive variety trials, grown in the central soil and climatic zone of Samara Region, were examined in the Laboratory of Innovative Technologies in Breeding, Seed Breeding and Seed Science and Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Wheat, Volga Branch of Samara Research Center of RAS. Infestation of seeds by pathogenic fungi was determined by roll method using the method according to GOST 12044-93 and subsequent microscopy. **Results.** Correct diagnosis and knowledge of the causes of the disease, peculiarities of pathogen development are the basis for successful protective and preventive measures. As a result of the study we conducted in 2019–2020 revealed a high degree of infection of seeds with fungi on a natural infectious background. Dominant on the seeds, studied samples are fungi: *Alternaria sp.* (with a frequency of occurrence from 0.5 to 35.0% and relative prevalence from 0.7 % to 56.5 %, *Fusarium sp.* (with a frequency of occurrence from 2 to 45.5 %, and relative prevalence from 4.1 % to 67.4 % respectively) and the group of fungi causing seed mold (*Cladosporium sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium sp.* etc.). Differences in the amount of precipitation and relative humidity may be a probable reason for differences in the frequency of a particular fungus and species detected on seeds of winter soft wheat in different years. **Scientific novelty.** The phytopathological estimation of seeds as applied to the conditions of Samara region has been carried out and pathogenic complex of fungi associated with the seeds of winter wheat has been established.

Keywords: winter wheat, variety, fungi, seed infection, pathogen, percentage frequency, relative abundance.

For citation: Kincharova M. N., Kincharov A. I., Abdryaev M. R. Rasprostranennost' gribnoy infektsii na semena-kh ozimoy pshenitsy v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Prevalence of fungal infection on winter wheat seeds under conditions of the Middle Volga region] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. No. 12 (227). Pp. 11–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-11-22. (In Russian.)

Date of paper submission: 09.09.2022, **date of review:** 08.10.22, **date of acceptance:** 10.10.22.

References

1. Toropova E. Yu. Fitoekspertiza semyan kak faktor optimizatsii tekhnologii poseva zernovykh kolosovykh kul'tur i l'na v Kurganskoj oblasti [Phytoexpertise of seeds as a factor in optimizing the technology of sowing cereals and flax in the Kurgan region] // Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy: Kurgan State Agricultural Academy. 2012. No. 2. Pp. 37–40. (In Russian.)
2. Nazarova L. N., Sokolova E. A. Progressivnyye bolezni zernovykh kul'tur [Progressive diseases of cereal crops] // Arpo XXI. 2000. No. 4. Pp. 2–3. (In Russian.)
3. Lavrinova V. A., Polunina T. S., Leont'eva M. P. Fitopatogennaya mikrobiota semyan na rayonirovannykh sortakh yachmenya v TsChZR [Phytopathogenic mycobiota seeds on released varieties of barley in the CCR] // Sovremennye problemy agroekologii: materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii. Nikolaev, 2018. P. 6. (In Russian.)
4. Mitryaeva N. A. Semennaya infektsiya i ee vzbuditeli [Seed infection and its pathogens] // Zashchita rasteniy v sovremennykh usloviyakh razvitiya APK: sbornik materialov Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k otkrytiyu OOO «Bayer» sovremennoy IT-auditorii na fakul'tete agrobiznesa i ekologii. Orel, 2019. Pp. 236–239. (In Russian.)
5. Lavrinova V. A., Polunina T. S., Gusev I. V. Fungitsidy protiv kompleksa mikromitsetov na semenakh ozimoy pshenitsy v severo-vostochnoy chasti Tsentral'nogo chernozemnogo regiona [Fungicides against the complex of micromycetes on the seeds of winter wheat in the north-eastern part of the Central Black Earth region] // International research journal. 2018. No. 10 (76). Ch. 1. Pp. 81–84. (In Russian.)
6. Otieno P. K., Imbahale S. S., Wekesa V. W., Otipa M., Okoth S. Molecular Determination of Toxigenic Potential of *Fusarium* spp. Isolated from Seeds of Wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes and Evaluation of Levels of Fumonisin in the Grains at Harvest in Three Major Wheat Producing Counties in Kenya // International Journal of Agronomy. 2022. Vol. 2022. Article number 1428312. DOI: 10.1155/2022/1428312.
7. Adhikari P., Khatri-Chhetri G. B., Shrestha S.M., Marahatta S. Study on Prevalence of Mycoflora in Wheat Seeds // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. 2016. No. 4 (1). Pp. 31–35.
8. Kincharova M. N., Matvienko E. V. Vliyanie okraski semyan sorgo zernovogo na zaselenie ikh patogennoy mikroflory [Influence of the color of grain sorghum seeds on their colonization by pathogenic microflora] // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2020. No. 4. Pp. 108–113. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-108-113. (In Russian.)
9. Kincharova M. N., Matvienko E. V. Effektivnost' predposevnoy obrabotki semyan v bor'be s boleznyami zernovogo sorgo [The effectiveness of pre-sowing seed treatment in the fight against diseases of grain sorghum] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 09 (212). Pp. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-212-09-2-10. (In Russian.)
10. Nguvo K. J., Gao X. Weapons hidden underneath: bio-control agents and their potentials to activate plant induced systemic resistance in controlling crop *Fusarium* diseases // Journal of plant diseases and protection. 2019. No. 126. Pp. 177–190. DOI: 10.1007/s41348-019-00222-y.
11. Zolkin A. L., Matvienko E. V., Shavanov M. V. Innovative technologies in agricultural crops breeding and seed farming // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, 2021. Sci. 677. Article number 022092. DOI: 10.1088/1755-1315/677/2/022092.
12. Lafandra D., Riccardi G., Peter R. S. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health // Journal of Cereal Science. 2014. No. 59 (3). Pp. 312–326.
13. Piotrowska M., Slizewska K., Biernasiak J. Mycotoxins in cereal and soybean-based food and feed // Soybean – Pest Resistance. London, 2013. Chapter 8. Pp. 185–230. DOI: 10.5772/54470.
14. Majumder D., Rajesh T., Suting E. G., Debbarma A. Detection of seed borne pathogens in wheat: recent trends // Australian Journal of Crop Science. 2013. No. 7 (4). Pp. 500–507.
15. Hajihassani M., Hajihassani A., Khaghani S. Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran // African Journal of Biotechnology. 2012. No. 11 (23). Pp. 6290–6295. DOI: 10.5897/AJB11.3838.
16. Rehman A., Sultana K., Minhas N., Gulfranz M., Raja G. K., Anwar Z. Study of most prevalent wheat seed-borne mycoflora and its effect on seed nutritional value // African Journal of Microbiology Research. 2011. No. 5 (25). Pp. 4328–4337.
17. Nirenberg H., Schmitz-Elsherif H., Kling C. I. Occurrence of *Fusaria* and some “blackening moulds” on durum wheat in Germany: I. Incidence of *Fusarium* species. Journal of Plant Diseases and Protection. 1994. No. 101 (5). Pp. 449–459.
18. Abdallah-Nekache N., Laraba I., Ducos C. et al. Occurrence of *Fusarium* head blight and *Fusarium* crown rot in Algerian wheat: identification of associated species and assessment of aggressiveness // European Journal of Plant Pathology. 2019. No. 154. Pp. 499–512. DOI: 10.1007/s10658-019-01673-7.

19. Fakhrunnisa, Hashmi M. H., Ghaffar A. Seed borne mycoflora of wheat, sorghum and barley // *Pakistan Journal of Botany*. 2006. No. 38. Pp. 185–192.
20. Seth R. K., Alam S. Screening of fungi from wheat seeds // *International Journal of Agricultural*. 2015. No. 8 (5). Pp. 287–294.
21. Alabushev A. V., Vozhzhova N. N., Kupreyshvili N. T., Shishkin N. V., Marchenko D. M., Ionova E. V. Identification of stem Rust resistance genes in the winter wheat collection from southern Russia // *Plants*. 2019. Vol. 8. No. 12. Article number 559. DOI: 10.3390/plants8120559.
22. Jevtić R., Skenderović N., Župunski V. et al. Association between yield loss and Fusarium head blight traits in resistant and susceptible winter wheat cultivars // *Journal of plant diseases and protection*. 2020. No. 128. Pp. 1013–1022. DOI: 10.1007/s41348-021-00486-3.
23. Pidoplichko N. M. Griby-parazity kul'turnyh rasteniy [Fungi-parasites of cultivated plants]. An identifier. Vol. 2: Fungi imperfect. Kiev: Naukova Dumka, 1977. 300 p. (In Russian.)
24. Bilay V. I. Fuzarii [Fusariums]. Kiev: Naukova Dumka, 1977. 443 p. (In Russian.)
25. Naqvi S. D. Y., Shiden T., Merhawi W., Mehret S. Identification of seed borne fungi on farmer saved sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds // *Agricultural Science Research Journal*. 2013. No. 3. Pp. 107–114.
26. Kincharova M. N., Kincharov A. I. Izuchenie rasprostranennosti mikoflory na semenah yarovoj pshenicy v usloviyah Samarskoj oblasti [Study of mycoflora prevalence on the seeds of spring wheat in the Samara region] // *Agrarian Scientific Journal*. 2021. No. 3. Pp. 25–29. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp25-29. (In Russian.)
27. Saad A., Macdonald B., Martin A., Knight N., Percy C. Comparison of disease severity caused by four soil-borne pathogens in winter cereal seedlings // *Crop and Pasture Science*. 2021. No. 72. Pp. 325–334. DOI: 10.1071/CP20245.
28. Hajihassani M., Hajihassani A., Khaghani S. Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran // *African Journal of Biotechnology*. 2012. Vol. 11 (23). Pp. 6290–6295. DOI: 10.5897/AJB11.3838.
29. Hao Y., Vishvakeerthi J., Kandawatte T. C., Manawasinghe I., Li X., Liu M., Hyde K. D., Phillips A. J. L., Zhang W. *Nigrospora* Species Associated with Various Hosts from Shandong Peninsula, China // *Mycobiology*. 2020. Vol. 48. Iss. 3. Pp. 169–183. DOI: 10.1080/12298093.2020.1761747.
30. Kincharov A. I., Demina E. A. Analiz i kratkosrochnyj prognoz izmeneniya klimaticeskikh uslovij v adaptivnoj selekcii yarovyh zernovyh [Analysis and short-term forecast of climatic changes in adaptive breeding of spring cereals] // *Russian Agricultural Science*. 2022. No. 1. Pp. 23–30. DOI: 10.31857/S2500262722010057. (In Russian.)

Authors' information:

Marina N. Kincharova¹, candidate of agricultural sciences, associate professor, leading researcher laboratory of innovative technologies in breeding, seed production and seed science, ORCID 0000-0002-1987-8708, AuthorID 341952; +7 927 706-04-32, potatolab@mail.ru

Aleksandr I. Kincharov¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of spring wheat breeding and seed production, ORCID 0000-0001-5492-8582, AuthorID 644773; +7 927 705-81-71, kincharov_ai@mail.ru

Mansur R. Abdryaev¹, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of winter wheat breeding and seed production, ORCID 0000-0002-3795-5869, AuthorID 877052; +7 927 013-25-79, alcasar@rambler.ru

¹ Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P. N. Konstantinov – a branch of the Samara Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kinel, Russia

Эффективность предпосевной обработки семян *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, *Triticum aestivum* L., *Raphanus sativus* L., *Allium cepa* L. оксидом кремния

Т. Г. Леконцева^{1✉}, А. В. Федоров¹

¹ Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, Ижевск, Россия

✉ E-mail: t.lekontseva@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – тестирование влияния водного раствора оксида кремния на посевные качества семян растений. **Методы.** Оценку влияния оксида кремния (SiO_2) на посевные качества семян проводили лабораторным методом согласно МУ 1.2.2635-10 «Медико-биологическая оценка безопасности наноматериалов» и ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». В качестве индикаторов использовали семена фасоли спаржевой *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* сорта Матильда, пшеницы яровой *Triticum aestivum* L. сорта Свеча, редиса посевного *Raphanus sativus* L. сорта Чемпион и лука репчатого *Allium cepa* L. сорта Одинцовец. Учитывали следующие показатели: энергия прорастания и всхожесть семян, количество, длина и масса подземных и надземных частей проростков. Статистическая обработка данных проведена дисперсионным методом по Б. А. Доспехову. **Научная новизна.** Выявлена видоспецифическая реакция семян на обработку оксидом кремния. Лучшие результаты по морфометрическим параметрам проростков фасоли спаржевой и пшеницы яровой получены при обработке семян 0,0025 % оксидом кремния, редиса – 0,005 %. Семена лука подвергать обработке оксидом кремния нецелесообразно. По результатам исследований наиболее отзывчивыми на обработку оказались семена фасоли спаржевой. Энергия прорастания и всхожесть семян в варианте обработки 0,0025 % оксидом кремния по сравнению с контролем (дистиллированная вода) были больше на 13,7 % и 3,0 % соответственно, однако разница недостоверна. Исследованные концентрации способствовали существенному увеличению средней длины корней. При концентрации 0,01 % данный показатель был больше на 30,6 мм, 0,005 % – на 30,7 мм, при 0,0025 % – на 48,8 мм соответственно ($\text{HCP}_{05} = 30,1$). Средняя масса корней была больше на 67,5 мг в варианте обработки семян 0,0025 % раствором оксида кремния ($\text{HCP}_{05} = 41,5$).

Ключевые слова: семена, энергия прорастания, всхожесть, фасоль спаржевая, пшеница яровая, редис посевной, лук репчатый.

Для цитирования: Леконцева Т. Г., Федоров А. В. Эффективность предпосевной обработки семян *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, *Triticum aestivum* L., *Raphanus sativus* L., *Allium cepa* L. оксидом кремния // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 23–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-23-34.

Дата поступления статьи: 17.08.2022, **дата рецензирования:** 25.09.22, **дата принятия:** 12.10.22.

Постановка проблемы (Introduction)

Кремний довольно широко распространен в коре земного шара. Однако наблюдается несоответствие между распространением данного элемента в природе и имеющимися знаниями о нем. Кремний и его соединения являются обязательными элементами тканей растений и животных. Он присутствует во всех пищевых продуктах растительного происхождения [1, с. 302]. В золе культурных растений содержание кремния колеблется в среднем от 0,16 % до 8,4 %. Максимальное количество кремния содержат злаковые культуры (8–16 %), а растения риса – до 15–20 % оксида кремния [2, с. 39].

Кремний в растительном организме выполняет множество функций, способствует лучшему росту и развитию, повышению урожайности, особую роль играет при стрессовых ситуациях. Отсутствие кремния в растении приводит к замедленному росту, отставанию в развитии. Это единственный питательный элемент, который не нарушает состояние растений при его избытке [3, с. 86].

Исследования по влиянию данного элемента на растения актуальны, остается много неизученного.

Методология и методы исследования (Methods)

Оценку влияния оксида кремния на посевные качества семян проводили лабораторным методом согласно МУ 1.2.2635-10 «Медико-биологическая оценка безопасности наноматериалов» и ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Для проращивания семян индикаторных культур пинцетом раскладывали в чашках Петри на двухслойную фильтровальную бумагу, смоченную дистиллированной водой (вариант опыта «контроль») или соответствующим опыту раствором (остальные варианты опыта), температура +20...+24 °С. С целью увлажнения фильтровальной бумаги до полной влагоемкости в каждую чашку Петри наливали по 3 мл соответствующего раствора. Нанесение исследуемого образца на поверхность семян проводили путем легкого встряхивания семян в бюксе с образцом в течение 30 секунд. По мере подсыхания семян и фильтровальной бумаги проводили опрыскивание дистиллированной водой. Энергию прорастания и всхожесть семян исследуемых культур проводили через определенный промежуток времени: фасоли – на 4-е и 7-е сутки опыта, пшеницы – на 4-е и 8-е сутки.

Кроме энергии прорастания и лабораторной всхожести семян, оценивались также количество, длина и масса подземных и надземных частей. По каждому варианту было заложено 20 семян, повторность четырехкратная. Проведено две закладки опыта.

Оксид кремния для исследований был предоставлен Отделом физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН.

Схема опыта: 1) вода дистиллированная (контроль); 2) SiO_2 – 0,01 %; 3) SiO_2 – 0,005 %; 4) SiO_2 – 0,0025 %. Данная схема была изучена на семенах следующих культур: фасоль спаржевая *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* сорта Матильда и пшеница яровая *Triticum aestivum* L. сорта Свеча, редис посевной *Raphanus sativus* L. сорта Чемпион и лук репчатый *Allium cepa* L. сорта Одинцовец, – соответствующих ГОСТ 7758-75 и ГОСТ 9353-2016 соответственно.

Статистический анализ данных проводили дисперсионным методом по Б. А. Доспехову [4].

Результаты (Results)

Кремний – элемент IV группы периодической системы Д. И. Менделеева. После кислорода является самым распространенным элементом в коре земного шара, его содержание в литосфере по массе достигает 29,5 % [5].

Кремний – обязательный элемент растений [6, с. 23]. Он выполняет множество функций в растительном организме:

- оказывает существенное влияние на рост и развитие, способствует повышению урожайности и улучшению качества получаемой продукции;

- придает механическую прочность клеточным стенкам;

- в оптимальных дозах способствует лучшему усвоению таких элементов питания, как азот, фосфор, бор и др.;

- обеспечивает защиту растений от высоких токсичных доз тяжелых металлов;

- при оптимизации содержания кремния повышается эффективность фотосинтеза и активность корневой системы;

- невозможно переоценить роль кремния, которую он играет для повышения устойчивости растений к стрессам биотического и абиотического характера [7; 8, с. 70; 9, с. 12; 10; 11, с. 187]. Такой же точки зрения придерживаются и другие ученые, которые считают, что основной функцией кремния является формирование и поддержка природной защиты растений от загрязнения, болезней, насекомых-вредителей, заморозков, нехватки воды и элементов питания и других неблагоприятных факторов окружающей среды. Японские и канадские исследователи доказали, что иммуномодулирующая функция кремния заложена на генетическом уровне [12, с. 40; 13 с. 29; 14, с. 192; 15; 16].

Повышенная устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам основана на том, что кремний находится в растении в виде силикагеля. Как отмечает М. П. Колесников, растения поглощают кремний из почвенного раствора в виде ионов (SiO_3^{2-}) и (SiO_4^{4-}), а также в виде собственно монокремниевых кислот (H_2SiO_3 и H_4SiO_4), которые впоследствии в клеточном соке превращаются в кремнегель $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ [1, с. 304].

Водорастворимые формы кремния получают широкое применение как в России, так и за рубежом. Это обусловлено их высокой усвояемостью растениями, несложным способом применения и низкой себестоимостью. Считается, что они не так токсичны для животных и не летучи. Способы применения могут быть разные: можно использовать для обработки семенного материала и некорневых подкормок во время вегетационного периода. Предпосевная обработка семян положительно влияет с первых этапов их развития [17, с. 102; 3, с. 91; 18, с. 4; 19, с. 6].

Применение препарата «Силактив» (содержание кремния – 72 %) позволяет повысить урожайность риса до 16 % [20, с. 125].

Посевные качества – это совокупность признаков и свойств, характеризующих пригодность семян для посева. Это наиболее важные качества семян. Такой показатель, как энергия прорастания семян, характеризует дружность их прорастания,

всхожесть – количество семян, давших нормальные проростки в оптимальных условиях. Чем выше данные показатели, тем лучше качество семян. Обработка стимулирующими веществами призвана увеличить качество семенного материала для последующего повышения урожайности культур.

По результатам исследований все изучаемые концентрации оксида кремния по сравнению с контролем способствовали существенному увеличению

средней длины корней проростков фасоли (таблица 1, рис. 1, 2).

При 0,01-процентной концентрации данный показатель был больше на 30,6 мм; при 0,005-процентной – на 30,7 мм; при 0,0025-процентной – на 48,8 мм ($HCP_{05} = 30,1$). Средняя масса корней была существенно больше в варианте опыта с 0,0025-процентным раствором оксида кремния (на 67,5 мг при $HCP_{05} = 41,5$).

Таблица 1

Влияние оксида кремния на посевные качества семян фасоли спаржевой сорта Матильда, 2020 г.

Вариант обработки	Морфометрические параметры			
	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина корней, мм	Масса корней, мг
Вода (к)	71,0	97,7	49,7	83,0
SiO ₂ 0,0025 %	84,7	100,0	98,5	150,5
SiO ₂ 0,005 %	70,7	100,0	80,4	105,6
SiO ₂ 0,01 %	69,7	100,0	80,3	119,7
HCP ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	30,1	41,5

Table 1

The effect of silicon oxide on the sowing qualities of seeds of the asparagus bean variety Matilda, 2020

Processing option	Morphometric parameters			
	Germination energy, %	Germination, %	Average length of roots, mm	Root mass, mg
Water (c)	71.0	97.7	49.7	83.0
SiO ₂ 0,0025 %	84.7	100.0	98.5	150.5
SiO ₂ 0,005 %	70.7	100.0	80.4	105.6
SiO ₂ 0,01 %	69.7	100.0	80.3	119.7
LSD ₀₅	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$	30.1	41.5

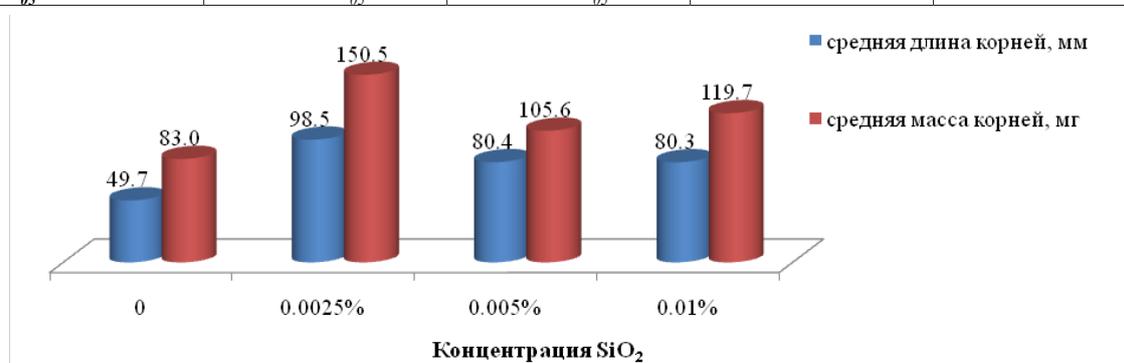


Рис. 1. Влияние оксида кремния на развитие первичных корешков семян фасоли спаржевой сорта Матильда, 2020 г.

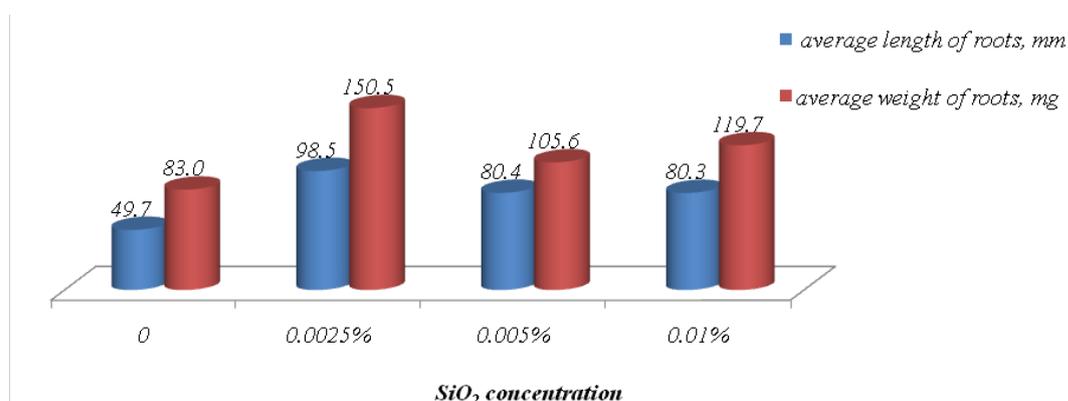


Fig. 1. The effect of silicon oxide on the development of the primary roots of the seeds of the asparagus bean variety Matilda, 2020



Рис. 2. Внешний вид проросших семян фасоли спаржевой сорта Матильда при контрольной обработке водой (слева) и 0,01-процентным оксидом кремния (справа), 2020 г.

Fig. 2. Appearance of germinated seeds of asparagus bean variety Matilda during control treatment with water (left) and 0.01 % silicon oxide (right), 2020



а)



б)

Рис. 3. Внешний вид корней фасоли спаржевой при обработке семян: а) 0,01-процентным оксидом кремния (слева) и водой (контроль, справа); б) 0,0025-процентным оксидом кремния (слева) и водой (контроль, справа), 2020 г.

Fig. 3. Appearance of the roots of asparagus beans during seed treatment: а) 0.01 % silicon oxide (left) and water (control, right); б) 0.0025 % silicon oxide (left) and water (control, right), 2020

По визуальной оценке наилучшее развитие корней было отмечено в варианте обработки семян 0,0025-процентным раствором кремния. Главный корень был толстый, с желтоватым оттенком, с наличием множества длинных боковых корней (рис. 3).

Таким образом, все концентрации оксида кремния оказали стимулирующее влияние на развитие зародышевых корней семян фасоли. Наибольший эффект оказал 0,0025-процентный раствор, при обработке которым выявлена существенно большая длина (на 48,8 мм) и масса корней (на 67,5 мг) по сравнению с контролем ($HCP_{05} = 30,1$ и 41,5 соответственно). По результатам многочисленных исследований ученых, концентрации растворов кремния и способы применения, которые оказывают стимулирующее действие, разные. Отмечен положительный эффект на посевные качества семян риса и фотосинтетическую деятельность растений при предпосевной обработке 0,75-процентным раствором кремния и 0,5-процентным при некорневом применении [21, с. 1]. Положительный эффект вы-

явлен на проростках семян гороха посевного сахарного (сорт Альфа), кукурузы сахарной (сорт Фаворит) и огурца (сорт Изящный) при обработке аморфным диоксидом кремния в дозе 50 мг/л. Использование кремнезоля с концентрацией 2 г/л для предпосевной обработки семян моркови сорта Лосиноостровская и рассады томатов Виноградная гроздь приводило к увеличению урожайности в 1,2 и 2 раза соответственно. Положительное влияние оказало применение аморфного диоксида кремния «Ковелос» на урожайность, физиологические и морфометрические показатели картофеля сорта Жуковский ранний [22, с. 95]. Рекомендовано внесение кремния в состав гидропонного раствора на постоянной основе. Джозеф Р. Чидьяк отмечает, что кремний добавляют в состав раствора в количестве не более 50 ppm. Данная концентрация вещества оказывает положительное влияние на рост и развитие растений, их устойчивость к болезням [23].

Кремний относится к важным элементам, входящих в минеральный состав коронарных клеток корневого чехлика и выделяемых корневыми во-

лосками слизей. Поэтому улучшение кремниевого питания растений приводит к увеличению биомассы корней, их объема, общей и рабочей адсорбирующей поверхности. Также применение удобрений, содержащих кремний, улучшает газообмен корневой системы [2, с. 39].

По результатам дисперсионного анализа морфометрических параметров проростков пшеницы (средняя длина и масса побега, средняя длина, количество и масса корней) между вариантами опыта отличий не выявлено. Однако при обработке семян 0,01-процентным раствором исследуемого раствора энергия прорастания и всхожесть были 59,5 % и 65,3 %, что меньше по сравнению с контролем на

25,5 % и 27,4 % соответственно (при $HCP_{05} = 3,9$ и 6,6, таблица 2).

Согласно МУ 1.2.2535-10 концентрация 0,01 % SiO_2 является токсичной по показателям энергии прорастания и всхожесть семян, тогда как 0,0025-процентный раствор оказал стимулирующее действие на такие параметры, как средняя длина побега, средняя длина и масса корня (на 135,2 %, 131,8 % и 157,2 % соответственно по сравнению с контролем). По оценке МУ 1.2.2535-10, в опыте при улучшении параметров свыше 120 % от контроля предполагается, что исследуемый образец обладает стимулирующими свойствами. Внешний вид проростков пшеницы приведен на рис. 4.

Таблица 2

Влияние оксида кремния на посевные качества семян пшеницы яровой сорта Свеча, 2020 г.

Вариант обработки	Морфометрические параметры					
	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина побегов, мм	Средняя масса побегов, мг	Средняя длина корней, мм	Средняя масса корней, мг
Вода (к)	85,0	92,7	61,6	55,2	61,4	48,4
SiO_2 , 0,0025 %	85,3	93,0	83,3	63,9	80,9	76,1
SiO_2 , 0,005 %	80,0	83,0	72,7	60,8	66,9	49,9
SiO_2 , 0,01 %	59,5	65,3	72,4	57,0	58,0	58,1
HCP_{05}	3,9	6,6	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$

Table 2

The effect of silicon oxide on the sowing qualities of seeds of spring wheat variety Svecha, 2020

Processing option	Morphometric parameters					
	Germination energy, %	Germination, %	Average length of shoot, mm	Average mass of shoots, mg	Average length of roots, mm	Average weight of roots, mg
Water (c)	85.0	92.7	61.6	55.2	61.4	48.4
SiO_2 , 0,0025 %	85.3	93.0	83.3	63.9	80.9	76.1
SiO_2 , 0,005 %	80.0	83.0	72.7	60.8	66.9	49.9
SiO_2 , 0,01 %	59.5	65.3	72.4	57.0	58.0	58.1
LSD_{05}	3.9	6.6	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$



Рис. 4. Внешний вид проростков пшеницы при предпосевной обработке семян:
а) водой (контроль, слева) и 0,01-процентным раствором SiO_2 (справа);
б) водой (контроль, слева) и 0,0025-процентным раствором SiO_2 (справа), 2020 г.

Fig. 4. Appearance of wheat seedlings during presowing seed treatment
a) water (control, left) and 0.01 % SiO_2 solution (right);
b) water (control, left) and 0.0025 % SiO_2 solution (right), 2020

Таблица 3

Влияние оксида кремния на посевные качества семян редиса сорта Чемпион, 2020 г.

Вариант обработки	Морфометрические параметры			
	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина корней, мм	Масса корней, мг
Вода (к)	98,0	98,0	99,4	40,3
SiO ₂ 0,0025 %	95,7	97,0	78,5	32,0
SiO ₂ 0,005 %	99,0	99,0	115,2	50,1
SiO ₂ 0,01 %	100,0	100,	42,8	21,2
HCP ₀₅	2,0	$F_{\phi} < F_{05}$	33,9	11,5

Table 3

Influence of silicon oxide on the sowing qualities of radish seed varieties Champion, 2020

Processing option	Morphometric parameters			
	Germination energy, %	Germination, %	Average length of roots, mm	Root mass, mg
Water (c)	98.0	98.0	99.4	40.3
SiO ₂ 0,0025 %	100.0	100.	42.8	21.2
SiO ₂ 0,005 %	99.0	99.0	115.2	50.1
SiO ₂ 0,01 %	95.7	97.0	78.5	32.0
LSD ₀₅	2.0	$F < F_{05}$	33.9	11.5

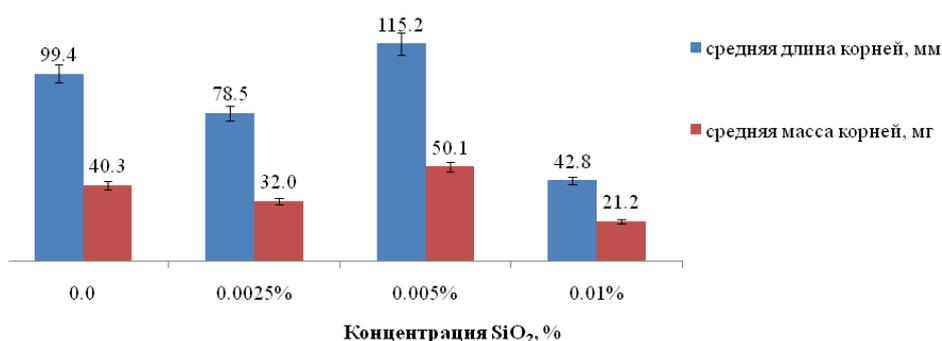


Рис. 5. Влияние оксида кремния на корнеобразование семян редиса сорта Чемпион, 2020 г.

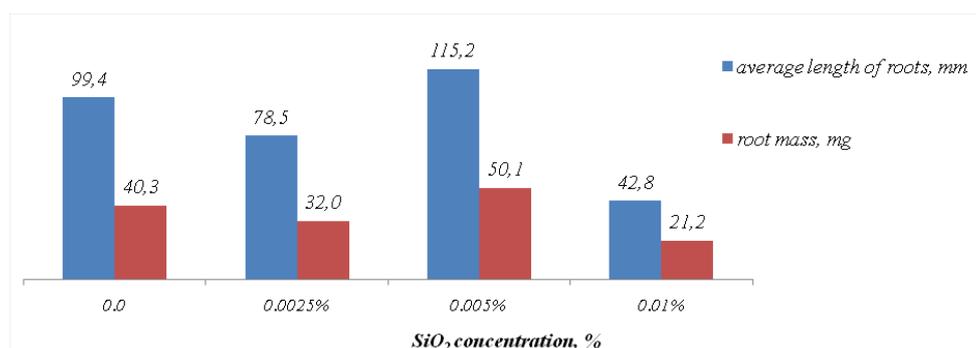


Fig. 5. The effect of silicon oxide on the root formation of radish seeds of the Champion variety, 2020

Злаковые культуры менее отзывчивы на действие аморфного диоксида кремния, а семена овощных и бобовых культур в большей степени [24, с. 45]. По другим данным, достаточно высокая эффективность предпосевной обработки семян и вегетирующих растений «ЭкSi», «Мивал-Агро», диатомитом и использования полного минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы сорта Маргарита [25, с. 67]. Способ при-

менения кремния также имеет большое значение. При корневом применении кремний содержащих растворов усваивается 1–5 %, тогда как при некорневом – 30–40 % [26, с. 34]. Опрыскивание проростков пшеницы оказалось лучшим вариантом по сравнению с замачиванием семян, которое выражалось в достоверном увеличении длины прироста проростков [27, с. 50].

Влияние оксида кремния на посевные качества семян лука репчатого сорта Одинцовец, 2020 г.

Вариант обработки	Морфометрические параметры				
	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина корней, мм	Средняя масса растений, мг	Средняя длина растений, мм
Вода (к)	62,7	74,7	19,1	17,2	61,7
SiO ₂ 0,0025 %	65,0	74,7	18,9	10,1	41,6
SiO ₂ 0,005 %	45,0	62,0	19,9	11,1	41,1
SiO ₂ 0,01 %	62,0	72,0	21,5	17,2	59,3
HCP ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$

Table 4

The effect of silicon oxide on the sowing qualities of onion seeds of the Odintsovo variety, 2020

Processing option	Morphometric parameters				
	Germination energy, %	Germination, %	Average length of roots, mm	Average weight of plants, mg	Average length of plants, mm
Water (c)	62.7	74.7	19.1	17.2	61.7
SiO ₂ 0,0025 %	65.0	74.7	18.9	10.1	41.6
SiO ₂ 0,005 %	45.0	62.0	19.9	11.1	41.1
SiO ₂ 0,01 %	62.0	72.0	21.5	17.2	59.3
LSD ₀₅	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$	$F < F_{05}$



а)



б)

Рис. 6. Внешний вид корней редиса сорта Чемпион при обработке семян:

а) водой (контроль, слева) и 0,01-процентным раствором оксида кремния (справа);

б) водой (контроль, слева) и 0,005-процентным раствором оксида кремния (справа), 2020 г.

Fig. 6. The appearance of the roots of the radish variety Champion during seed treatment:

а) water (control, left) and 0.01 % solution of silicon oxide (right);

б) water (control, left) and 0.005 % solution of silicon oxide (right), 2020

Обработка семян редиса посевного сорта Чемпион оксидом кремния также оказала влияние на их посевные качества. Энергия прорастания семян при контрольной обработке дистиллированной водой была 98,0 %, существенно выше в варианте использования 0,01-процентного оксида кремния (больше на 2,0 % при HCP₀₅ = 2,0). Однако в дальнейшем по всхожести семян между вариантами опыта различия не было (таблица 3).

Обработка 0,01-процентным оксидом кремния по сравнению с контролем отрицательно повлияла на среднюю длину и массу корней, меньше на 56,6 мм и 19,1 мг соответственно (HCP₀₅ = 33,9 и 11,0, рис. 5).

По визуальной оценке обработка семян 0,01-процентным раствором кремния стимулировала развитие главного корня без боковых, всасывающие корневые волоски были слабо выражены (рис. 6, а, справа).

Стимулирующее влияние оказала 0,005-процентная концентрация раствора кремния по таким параметрам, как средняя длина и масса корней, однако разница по сравнению с контролем была не достоверна (рис. 6, б). Необходимо отметить наличие боковых корней, что является положительным моментом при развитии корневой системы и в дальнейшем растения в целом.

Также была оценена возможность применения оксида кремния для стимулирования семян лука. По внешнему виду семена черные (их иногда называют чернушкой), неправильной трехгранной формы, покрыты твердой морщинистой роговидной оболочкой, хорошо защищающей от неблагоприятных воздействий. Семена культуры считаются труднопрорастающими. Для повышения всхожести семян перед посевом рекомендуется проводить за-

мачивание, что способствует повышению посевных качеств. В опыте энергия прорастания и всхожесть семян были невысокими. Энергия прорастания в контроле – 62,7 % при обработке 0,005-процентным раствором кремния данный показатель снизился на 17,7 % и составил 45,0 %. Всхожесть по сравнению с контролем ниже на 12,7 %, однако разница недо-стоверна (таблица 4).

По другим исследуемым параметрам, таким как средняя длина корней, средняя масса и длина растений, между вариантами опыта отличий не выявлено. Применение оксида кремния для стимулирования семян лука нецелесообразно.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, на основе анализа научных статей и проведенных нами лабораторных исследований по влиянию оксида кремния на посевные качества семян нельзя сделать однозначный вывод об определенной концентрации, которая бы оказывала стимулирующее действие на разные виды растений. Ни одна из исследуемых в опыте концентраций не оказала жесткого губительного воздействия на семена и их дальнейшее развитие. Отмечена видоспецифичная реакция семян видов растений на предпосевную обработку оксидом кремния.

1. Наиболее отзывчивыми оказались семена фасоли спаржевой. Семена лука подвергать обработке оксидом кремния нецелесообразно, так как стимулирующего эффекта не выявлено.

2. Лучшие результаты по морфометрическим параметрам проростков фасоли спаржевой и пшеницы яровой получены при минимальной концентрации оксида кремния (0,0025 %), редиса посевного – 0,005 %.

3. Исследованные концентрации способствовали существенному увеличению средней длины корней фасоли. При 0,01-процентной концентрации данный показатель был больше на 30,6 мм; при 0,005-процентной – на 30,7 мм; при 0,0025-процентной – на 48,8 мм соответственно ($HCP_{05} = 30,1$). Средняя масса корней была больше на 67,5 мг в варианте обработки семян 0,0025-процентным раствором оксида кремния ($HCP_{05} = 41,5$).

4. Согласно МУ 1.2.2535-10, 0,01-процентная концентрация SiO_2 для семян пшеницы является токсичной, тогда как 0,0025-процентный раствор по сравнению с контролем оказал стимулирующее действие на такие параметры, как средняя длина побегов, средняя длина и масса корней (на 135,2 %, 131,8 % и 157,2 % соответственно).

Благодарности (Acknowledgements)

Авторы выражают благодарность сотрудникам Отдела физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН: главному научному сотруднику, доктору физико-математических наук Ломаевой Светлане Федоровне, старшему научному сотруднику, кандидату физико-математических наук Шакову Анатолию Анатольевичу за предоставленный для исследований оксид кремния.

Библиографический список

- Колесников М. П. Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии. 2001. № 41. С. 301–332.
- Козлов А. В., Уромова И. П., Фролов Е. А., Мозолева К. Ю. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 1. С. 39.
- Самсонова Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах. Агрехимия. 2019. № 1. С. 86–96. DOI: 10.1134/S0002188119010071.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1985. 351 с.
- Матковский П., Ярулин Р. Кремний в мире человека // Химический журнал. 2011. № 6–7. С. 36–39.
- Козлов А. В., Куликова А. Х., Яшин Е. А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах [Электронный ресурс] // Вестник Мининского университета. 2015. № 2 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-i-znachenie-kremniya-i-kremniysoderzhaschih-veschestv-v-agroekosistemah> (дата обращения: 06.06.2022).
- Крамарев С. М., Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Кремний и защита растений от стресса: теория, практика, перспективы [Электронный ресурс]. URL: http://quantum.ua/articles/art_06.pdf (дата обращения 06.06.2022).
- Петриченко В. Н., Логинов С. В., Туркина О. С., Солдатова С. Ю. Применение кремнийсодержащих препаратов в растениеводстве России // Вестник РАЕН. 2019. Т. 19. № 4. С. 70–86.
- Самсонова Н. Е., Козлов Ю. В., Зайцева З. Ф., Шупинская И. А. Эффективность соединений кремния при обработке семян и растений кукурузы (*Zea mays L.*) // Агрехимия. 2017. № 1. С. 12–18.
- Luyckx M., Hausman J. F., Lutts S., Guerriero G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives [e-resource] // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. No. 411. DOI: 10.3389/fpls.2017.00411. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00411/full> (date of reference: 22.07.2022).
- Alzahrani Y., Kuşvuranb A., Alharbya H. F., Kuşvuranb S., Radyc M. M. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced bydrought, salinity or cadmium // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018. No. 154. Pp. 187–196.

12. Безручко Е. В. Кремний – недооцененный элемент питания растений // Земледелие. 2020. № 4. С. 40–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10411.
13. Матыченков В., Бочарникова Е., Ходырев В. Кремний питает растения // Наука и жизнь. 2015. № 8. С. 28–31.
14. Hawerth C., Araujo L., Bermudez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot // The Journal of Tropical Plant Pathology. 2018. Vol. 44. Pp. 192–196. DOI: 10.1007/s40858-018-0247-8.
15. Zhou X., Shen Y, Fu X. Application of Sodium Silicate Enhances Cucumber Resistance to Fusarium Wilt and Alters Soil Microbial Communities [e-resource] // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. No. 624. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00624/full>. DOI: 10.3389/fpls.2018.00624 (date of reference: 24.07.2022).
16. Kaushik P., Saini D. Silicon as a Vegetable Crops Modulator – A Review [e-resource] // Plants. 2019. Vol. 8. No. 6. No. 148. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/6/148>. DOI: 10.3390/plants8060148. (date of reference: 24.07.2022).
17. Ложникова В. Н., Слестя И. В. Рост растений ярового ячменя и активность эндогенных фитогормонов под действием кремния // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 3. С. 102–107.
18. Смывалов В. С. Эффективность кремнийсодержащих материалов при возделывании яровой пшеницы и ячменя в условиях Среднего Поволжья // автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.: 06.01.04 Усть-Кинельский, 2017. 20 с.
19. Зейслер Н. А. Влияние силатранов на прорастание семян хлебных злаков // Интеллектуальный потенциал XXI: ступени познания. 2016. № 31. С. 6–10.
20. Барчукова А. Я., Бондарчук Е. Ю., Чернышева Н. В. Урожайность риса в зависимости от применения в технологии его возделывания агрохимиката Силактив // Энтузиасты аграрной науки: сборник статей по материалам международной конференции, посвященной советскому и российскому организатору сельского хозяйства, академику ВАСХНИЛ и РАН, герою Социалистического Труда Трубилину Ивану Тимофеевичу. Краснодар, 2016. С. 125–129.
21. Кемечева М. Х. Роль кремниевых удобрений в повышении продуктивности риса на луговых почвах левобережья р. Кубань: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.: 06.01.04. Краснодар, 2003. 21 с.
22. Немцова А. В., Харин А. В., Разлугу И. А., Выхорь Т. П. Влияние аморфного диоксида кремния «Ковелос» на урожайность, морфометрические и физиологические показатели овощных культур [Электронный ресурс] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. Т. 21. № 2 (88). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-amorfno-go-dioksida-kremniya-kovelos-na-urozhaynost-morfometricheskie-i-fiziologicheskie-pokazateli-ovoschnyh-kultur> (дата обращения: 25.07.2022).
23. Загадочный помощник: кремний и его влияние на жизнь растений [Электронный ресурс]. URL: <https://agro-exim.com/ru/news/zagadochnyj-pomoshnik-kremnij-i-ego-vliyanie-na-zhizn-rastenij/> (дата обращения: 20.07.2022).
24. Анищенко Л. Н., Борздыко Е. В., Москаленко В. В., Сквородникова Н. А., Лось С. Л., Прохоренко Ф. В. Влияние аморфного диоксида кремния на ростовые и биохимические показатели культурных растений на ранних стадиях онтогенеза [Электронный ресурс] // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 40–45. URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36409> (дата обращения: 14.07.2022).
25. Смывалов В. С., Карпов А. В., Куликова А. Х., Яшин Е. А., Захарова Д. А. Продуктивность и биоэнергетическая эффективность технологий возделывания яровой пшеницы в зависимости от применения кремний содержащих препаратов, диатомита и минерального удобрения // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. № 4 (16). С. 67–73.
26. Матыченков В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 34 с.
27. Смирнова Ю. Д., Рабинович Г. Ю. Исследование влияния кремния на биометрию проростков яровой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 50–53.

Об авторах:

Татьяна Германовна Леконцева¹, научный сотрудник, ORCID 0000-0002-6659-0504, AuthorID 637255; +7 950-155-20-26, t.lekontseva@yandex.ru

Александр Владимирович Федоров¹, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ORCID 0000-0003-2759-2037, AuthorID 219069; +7 950-820-25-65

¹ Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

Efficiency of presowing seed treatment of *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, *Triticum aestivum* L., *Raphanus sativus* L., *Allium cepa* L. with silicon oxide

T. G. Lekontseva¹✉, A. V. Fedorov¹

¹Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

✉E-mail: t.lekontseva@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study was to test the effect of an aqueous solution of silicon oxide on the sowing qualities of plant seeds. **Methods.** The assessment of the effect of silicon oxide (SiO₂) on the sowing qualities of seeds was carried out by a laboratory method according to Medical and biological safety assessment of nanomaterials 1.2.2635-10 and GOST 12038-84 “Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination”. Asparagus bean seeds *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* of Matilda variety, spring wheat *Triticum aestivum* L. of Svecha variety, seed radish *Raphanus sativus* L. of Champion variety and onion *Allium cepa* L. of Odintsovo variety. The following indicators were taken into account: germination energy and seed germination, number, length and weight of underground and aboveground parts of seedlings. Statistical data processing was carried out by the dispersion method according to B. A. Dospikhov. **Scientific novelty.** The species-specific reaction of seeds to the treatment with silicon oxide was revealed. The best results in terms of morphometric parameters of seedlings of asparagus bean and spring wheat were obtained when seeds were treated with 0.0025 % silicon oxide, radish – 0.005 %. It is not advisable to treat onion seeds with silicon oxide. According to the **research results**, asparagus bean seeds turned out to be the most responsive to processing. Germination energy and seed germination in the variant of treatment with 0.0025 % silicon oxide compared to the control (distilled water) were 13.7 % and 3.0 % higher, respectively, but the difference is not significant. The studied concentrations contributed to a significant increase in the average length of the roots. At 0.01 % concentration, this indicator was higher by 30.6 mm, 0.005 % by 30.7 mm, at 0.0025 % by 48.8 mm, respectively (HCP₀₅ = 30.1). The average root weight was 67.5 mg more in the variant of seed treatment with 0.0025% silicon oxide solution (HCP₀₅ = 41.5).

Keywords: seeds, germination energy, germination, cowpea asparagus, spring wheat, radish, onion.

For citation: Lekontseva T. G., Fedorov A. V. Effektivnost' predposevnoy obrabotki semyan *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*, *Triticum aestivum* L., *Raphanus sativus* L., *Allium cepa* L. oksidom kremniya [Efficiency L., *Allium cepa* L. with silicon oxide] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 23–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-23-34. (In Russian.)

Date of paper submission: 17.08.2022, **date of review:** 25.09.22, **date of acceptance:** 12.10.22.

References

1. Kolesnikov M. P. Formy kremniya v rasteniyakh [Silicon forms in plants] // Biological chemistry reviews. 2001. No. 41. Pp. 301–332. (In Russian.)
2. Kozlov A. V., Uromova I. P., Frolov E. A., Mozoleva K. Yu. Fiziologicheskoe znachenie kremniya v ontogeneze kul'turnykh rasteniy i pri ikh zashchite ot fitopatogenov [The physiological significance of silicon in the ontogeny of cultivated plants and in their protection from phytopathogens] // European Student Scientific Journal. 2015. No. 1. P. 39. (In Russian.)
3. Samsonova N. E. Kremniy v rastitel'nykh i zhivotnykh organizmakh [Silicon in plant and animal organisms] // Agricultural Chemistry. 2019. No. 1. Pp. 86–96. DOI: 10.1134/S0002188119010071. (In Russian.)
4. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta [Field experiment methodology]. Moscow: Kolos, 1985. 351 p. (In Russian.)
5. Matkovskiy P., Yaaruln R. Kremniy v mire cheloveka [Silicon in the human world] // The Chemical Journal. 2011. No. 6–7. Pp. 36–39. (In Russian.)
6. Kozlov A. V., Kulikova A. Kh., Yashin E. A. Rol' i znachenie kremniya i kremniysoderzhashchikh veshchestv v agroekosistemakh [The role and importance of silicon and silicon-containing substances in agroecosystems] [e-resource] // Vestnik Mininskogo universiteta. 2015. No. 2 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-i-znachenie-kremniya-i-kremniysoderzhashchih-veschestv-v-agroekosistemah> (date of reference: 06.06.2022). (In Russian.)

7. Kramarev S. M., Polyanchikov S. P., Kovbel' A. I. Kremniy i zashchita rasteniy ot stressa: teoriya, praktika, perspektivy [Silicon and protection of plants from stress: theory, practice, prospects] [e-resource] URL: http://quantum.ua/articles/art_06.pdf (date of reference: 06.06.2022). (In Russian.)
8. Petrichenko V. N., Loginov S. V., Turkina O. S., Soldatova S. Yu. Primenenie kremniysoderzhashchikh preparatov v rastenievodstve Rossii [The use of silicon-containing preparations in crop production in Russia] // Vestnik RAEN. 2019. Vol. 19. No. 4. Pp. 70–86. (In Russian.)
9. Samsonova N. E., Kozlov Yu. V., Zaytseva Z. F., Shupinskaya I. A. Effektivnost' soedineniy kremniya pri obrabotke semyan i rasteniy kukuruzy (*Zea mays* L.) [The efficiency of silicon compounds in the treatment of maize (*Zea mays* L.) seeds and plants] // Agricultural Chemistry. 2017. No. 1. Pp. 12–18. (In Russian.)
10. Luyckx M., Hausman J. F., Lutts S., Guerriero G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives [e-resource] // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. No. 411. DOI: 10.3389/fpls.2017.00411. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00411/full> (date of reference: 22.07.2022).
11. Alzahrana Y., Kuşvuranb A., Alharbya H. F., Kuşvuranb S., Radyc M. M. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018. No. 154. Pp. 187–196.
12. Bezruchko E. V. Kremniy – nedootsenennyy element pitaniya rasteniy [Silicon is an underestimated element of plant nutrition] // Zemledelie. 2020. No. 4. Pp. 40–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10411. (In Russian.)
13. Matychenkov V., Bocharnikova E., Khodyrev V. Kremniy pitaet rasteniya [Silicon nourishes plants] // Nauka i zhizn'. 2015. No. 8. Pp. 28–31. (In Russian.)
14. Hawerth S., Araujo L., Bermudez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot // The Journal of Tropical Plant Pathology. 2018. Vol. 44. Pp. 192–196. DOI: 10.1007/s40858-018-0247-8.
15. Zhou X., Shen Y, Fu X. Application of Sodium Silicate Enhances Cucumber Resistance to Fusarium Wilt and Alters Soil Microbial Communities [e-resource] // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. No. 624. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00624/fulldoi>: 10.3389/fpls.2018.00624 (date of reference: 24.07.2022).
16. Kaushik P., Saini D. Silicon as a Vegetable Crops Modulator: A Review [e-resource] // Plants. 2019. Vol. 8. No. 6. No. 148. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/6/148>. DOI: 10.3390/plants8060148 (date of reference: 24.07.2022).
17. Lozhnikova V. N., Slastya I. V. Rost rasteniy yarovogo yachmenya i aktivnost' endogennykh fitogormonov pod deystviem kremniya [Growth of spring barley plants and activity of endogenous phytohormones under the action of silicon] // Agricultural Biology. 2010. No. 3. Pp. 102–107. (In Russian.)
18. Smyvalov V. S. Effektivnost' kremniysoderzhashchikh materialov pri vozdeleyvaniy yarovoy pshenitsy i yachmenya v usloviyakh Srednego Povolzh'ya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.01.04 [Efficiency of silicon-containing materials in the cultivation of spring wheat and barley in the conditions of the Middle Volga region: abstract of the dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.04]. Ust'-Kinel'skiy, 2017. 20 p. (In Russian.)
19. Zeysler N. A. Vliyanie silatranov na prorastanie semyan khlebnnykh zlakov [Effect of silatranes on the germination of cereal seeds] // Intellektual'nyy potentsial XXI: stupeni poznaniya. 2016. No. 31. Pp. 6–10. (In Russian.)
20. Barchukova A. Ya., Bondarchuk E. Yu., Chernysheva N. V. Urozhaynost' risa v zavisimosti ot primeneniya v tekhnologii ego vozdeleyvaniya agrokhimikata Silaktiv [Rice yield depending on the use of Silaktiv agrochemical in the technology of its cultivation] // Entuziasty agrarnoy nauki Sbornik statey po materialam mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy sovetskomu i rossiyskomu organizatoru sel'skogo khozyaystva, akademiku VASKhNIL i RAN, geroyu Sotsialisticheskogo Truda Trubilinu Ivanu Timofeevichu. Krasnodar, 2016. Pp. 125–129. (In Russian.)
21. Kemecheva M. Kh. Rol' kremnievykh udobreniy v povyshenii produktivnosti risa na lugovykh pochvakh levoberezh'ya r. Kuban': avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.01.04 [The role of silicon fertilizers in increasing the productivity of rice on meadow soils on the left bank of the river Kuban: abstract of the dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.04]. Krasnodar, 2003. 21 p. (In Russian.)
22. Nemtsova A. V., Kharin A. V., Razlugo I. A., Vykhor' T. P. Vliyanie amorfnogo dioksida kremniya "Kovelos" na urozhaynost', morfometricheskie i fiziologicheskie pokazateli ovoschnykh kul'tur [Influence of amorphous silicon dioxide "Kovelos" on productivity, morphometric and physiological parameters of vegetable crops] [e-resource] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2019. Vol. 21. No. 2 (88). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-amorfnogo-dioksida-kremniya-kovelos-na-urozhaynost-morfometricheskie-i-fiziologicheskie-pokazateli-ovoschnykh-kulturn> (date of reference: 25.07.2022). (In Russian.)
23. Zagadochnyy pomoshchnik: kremniy i ego vliyanie na zhizn' rasteniy [Mysterious helper: silicon and its effect on plant life] [e-resource]. URL: <https://agro-exim.com/ru/news/zagadochnyj-pomoshnik-kremnij-i-ego-vliyanie-na-zhizn-rastenij> (date of reference: 20.07.2022). (In Russian.)

24. Anishchenko L. N., Borzdyko E. V., Moskalenko V. V., Skovorodnikova N. A., Los' S. L., Prokhorenko F. V. Vliyanie amorfnogo dioksida kremniya na rostovye i biokhimicheskie pokazateli kul'turnykh rasteniy na rannikh stadiyakh ontogeneza [Effect of amorphous silica on growth and biochemical parameters of cultivated plants at the early stages of ontogenesis] [e-resource] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. No. 3. Pp. 40–45. URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36409> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)
25. Smyvalov V. S., Karpov A. V., Kulikova A. Kh., Yashin E. A., Zakharova D. A. Produktivnost' i bioenergeticheskaya effektivnost' tekhnologiy vzdelyvaniya yarovoy pshenitsy v zavisimosti ot primeniya kremniy soderzhashchikh preparatov, diatomita i mineral'nogo udobreniya [Productivity and bioenergetic efficiency of spring wheat cultivation technologies depending on the use of silicon-containing preparations, diatomite and mineral fertilizer] // Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2017. No. 4 (16). Pp. 67–73. (In Russian.)
26. Matychenkov V. V. Rol' podvizhnykh soedineniy kremniya v rasteniyakh i sisteme pochva – rastenie: avtoref. dis. d-ra biol. nauk [The role of mobile silicon compounds in plants and the soil – plant system: abstract of the dissertation ... doctor of biological sciences]. Pushchino, 2008. 34 p. (In Russian.)
27. Smirnova Yu. D., Rabinovich G. Yu. Issledovanie vliyaniya kremniya na biometriyu prorstkov yarovoy pshenitsy [Study of the effect of silicon on the biometrics of spring wheat seedlings] // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 11. Pp. 50–53. (In Russian.)

Authors' information:

Tatyana G. Lekontseva¹, scientist researcher, ORCID 0000-0002-6659-0504, AuthorID 637255;
+7 950 155-20-26, t.lekontseva@yandex.ru

Aleksandr V. Fedorov¹, doctor of agricultural sciences, chief researcher, ORCID 0000-0003-2759-2037,
AuthorID 219069; +7 950 820-25-65

¹ Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Evaluation of the gene pool by *GH L127V* and *GHR F279Y* polymorphisms in Kazakh White-Headed cattle

K. M. Dzhulamanov¹, Sh. A. Makaev¹, N. P. Gerasimov¹✉

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉E-mail: nick.gerasimov@rambler.ru

Abstract. The aim of research is to monitor the genetic diversity of Kazakh White-Headed breed, taking into account the *GH L127V* and *GHR F279Y* polymorphisms. **Research methods.** The object of the study were cows ($n = 57$ heads) and young animals (calves and heifers, $n = 50$ heads) from the breeding farm “Krasnyy Oktyabr”, Volgograd region. Whole blood of animals served as the biomaterial; genotyping was carried out according to the polymorphisms *GH L127V* in growth hormone gene and *GHR F279Y* in growth hormone receptor gene by PCR-RFLP method. **Results.** The study of the gene pool by polymorphisms of the somatotrophic axis genes in Kazakh White-Headed cattle showed that the representatives of mature herd and young animals had L ($P_L = 0.660–0.728$) and V ($P_V = 0.272–0.340$) alleles in the locus of growth hormone gene, as well as F ($P_F = 0.412–0.550$) and Y ($P_Y = 0.450–0.588$) in the locus of growth hormone receptor gene. Genotypes distribution in growth hormone gene polymorphism was more balanced according to the Hardy-Weinberg law, but the population significantly ($P < 0.05$) deviated from the equilibrium state according to the genetic frequencies in growth hormone receptor gene. Differences in genetic frequencies for the growth hormone gene did not reach a significant level ($\chi^2 = 4.451$; $P = 0.108$) between cows and young animals. Тогда как по гену рецептора гормона роста отмечались значительные различия ($\chi^2 = 12,103$; $P = 0,002$) по встречаемости носителей гомозиготных генотипов, что обуславливалось использованием в воспроизводстве стада гетерозиготного по этому полиморфизму быка-производителя. Whereas, there were significant differences ($\chi^2 = 12.103$; $P = 0.002$) in the frequencies of homozygous genotypes carriers for the growth hormone receptor gene, which was due to the use of heterozygous sire for this polymorphism in the reproduction of the herd. **Scientific novelty.** For the first time, data on the assessment of the genetic structure of the Kazakh White-Headed mature herd and replacement young animals of Volgograd selection were obtained according to the polymorphisms *GH L127V* and *GHR F279Y*, associated with indicators of meat productivity. The results of the analysis of the genetic structure of the herd indicate the possibility of directed changes in the gene pool of the population in just one generation, which creates the prerequisites for the introduction of marker-assisted selection.

Keywords: Kazakh White-Headed breed, cows, young animal, genotype, allele, variability, polymorphism, *GH L127V*, *GHR F279Y*.

For citation: Dzhulamanov K. M., Makaev Sh. A., Gerasimov N. P. Otsenka genofonda kazakhskogo belogolovogo skota po polimorfizmam *GH L127V* i *GHR F279Y* [Evaluation of the gene pool by *GH L127V* and *GHR F279Y* polymorphisms in Kazakh White-Headed cattle] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 35–41. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-35-41.

Date of paper submission: 05.08.2022, **date of review:** 17.08.2022, **date of acceptance:** 31.10.2022.

Introduction

The genetic structure of any population of farm animals is variable under the breeding processes [1, p. 811]. For a long time, the characteristics of diversity within breeds, populations and herds were based mainly on morphological traits, exterior features and productive qualities in beef cattle. However, differentiation according to the animals' phenotype does not provide a complete assessment of intraspecific variability

and is often limited by the fact that the expressiveness of particular traits and appearance is largely due to environmental factors [2, p. 268]. DNA polymorphisms have become the preferred biological markers for research in population genetics with the development of new technologies, which complement and take traditional approaches to genetic resource management to a new level [3, p. 376]. Thus, the use of molecular markers gives a detailed description of the individual and

group characteristics of animals, regardless of paratypical factors. The combination of genetic monitoring and traditional zootechnical methods increases the efficiency of selection in breeding herds [4, p. 86].

The selection of animals according to the intensity of average daily gain and meat traits is important in breeding work with cattle in high-quality beef production [5, p. 8]. These traits have a relatively high heritability according to numerous studies, which indicates the existence of genetic factors that determine the listed economic traits in cattle. Thus, single nucleotide polymorphisms (SNPs) in growth hormone (*GH*) and growth hormone receptor (*GHR*) genes involved in the somatotrophic axis are associated with growth and development, carcass weight, rib eye area, and other selectable traits in beef cattle [6, p. 54]. Thereby, studying the state of the population gene pool for *GH* and *GHR* genes, evaluation and predicting its dynamics over time, and determining the limits of acceptable changes is of high economic importance in beef cattle breeding [7, p. 39].

These studies are especially relevant for domestic (Kalmyk and Kazakh White-Headed) beef breeds, because the improvement of their breeding traits for a long time took place due to the internal genetic resources. So, selection work with Kazakh White-Headed breed was based on breeding along lines that were founded on a limited number of outstanding prepotent sires with the large-scale use of artificial insemination in breeding herds [8, p. 207]. This means that sires had to stable pass on their heredity to progeny. At the next stage of breeding work, a strict selection of successors was carried out according to the results of a test by own productivity for further consolidation of the genealogical line. As a result, the current state of the genetic resources tends to decrease in diversity, which ultimately affects the decrease in phenotype variability in Kazakh White-Headed breed.

A large number of livestock (4th place among beef cattle) and a wide distribution area of Kazakh White-Headed breed, which occupies various natural and climatic zones of Russia, make it possible to minimize the negative effects of reducing genetic variability. In addition, ecological differentiation provided favorable conditions for the development of domestic cattle breeding, enriched its hereditary potential of productivity, and regular exchange of genetic material allows maintaining the unity of the breed using modern genetic and genomic methods [9, p. 9–10].

Information about the distribution of genetic variability between different generations of a breeding herd has important effects for selection and improving beef cattle breeds. Reliable assessment of population diversity for significant genes is critical for identifying the genetic relationships between different breeding groups and development an effective breeding system for breed improving. At the same time, selection for genes of the

same physiological and biological pathway increases the efficiency of gene pool improving in beef cattle.

Due to the need for study the dynamic processes in the gene pool of Kazakh White-Headed cattle, **the purpose of our work** was to evaluate the genetic variability of the breed in two successive generations, taking into account the polymorphisms *GH L127V* of the growth hormone gene and *GHR F279Y* of the growth hormone receptor gene.

Methods

The object of the study was the population of Kazakh White-Headed cattle from the APC breeding farm “Krasnyy Oktyabr” in Volgograd region. Cows ($n = 57$ heads) and young animals (bull-calves and heifers, $n = 50$ heads) were genotyped for polymorphisms *GH L127V* of the growth hormone gene and *GHR F279Y* of the growth hormone receptor gene. All young animals were obtained by artificial insemination from sire No. 3207 with *GH^LV* and *GHR^FY* genotype. Whole blood was taken from animals for genotyping, from which DNA was isolated using the “DIAtom™DNA-Prep” kit (IsoGeneLab, Moscow). The “GenePak-PCRCore” kits (IsoGeneLab, Moscow) were used for PCR. Genotyping was performed by PCR-RFLP on a “Tertsik” programmable thermal cycler (DNA-technology, Russia) to assess the polymorphisms of the growth hormone (*GH*) and growth hormone receptor (*GHR*) genes, using primers synthesized at the “Lytech” Co. Ltd.: *GH L127V* – (F: 5'-gct-gct-cct-gagcct-tcg-3' and R: 5'-gcg-gcg-gca-ctt-cat-gac-cct-3'), *GHR F279Y* – (F: 5'-ata-tgt-agc-agt-gac-aat-at-3' and R: 5'-acg-ttc-cac-tgg-gtt-gat-ga-3').

PCR program:

1) for *GH L127V* polymorphism: “hot start” – 5 minutes at +95 °C; 35 cycles: denaturation – 45 seconds at +94 °C, annealing – 45 seconds at +65 °C, extension – 45 seconds at +72 °C; final extension – 7 minutes at +72 °C;

2) for *GHR F279Y* polymorphism: “hot start” – 5 minutes at +95 °C; 35 cycles: denaturation – 30 seconds at +95 °C, annealing – 60 seconds at +60 °C, extension – 30 seconds at +72 °C; final extension – 10 minutes at +72 °C.

Restriction endonucleases were used to restrict amplified gene regions: for *GH L127V* – *AluI*; for *GHR F279Y* – *SspI*. The recognition site for *AluI* endonuclease is the nucleotide sequence AG↓CT. Restriction endonuclease *AluI* recognizes the allele containing C nucleotide (*GH^L*). If the allele contains a G nucleotide (*GH^V*), then the restriction site disappears. The recognition site for the *SspI* endonuclease is the AAT↓ATT nucleotide sequence. Restriction enzyme cuts the amplicate containing the T nucleotide (*GHR^F*). If the allele contains the A nucleotide (*GHR^I*), then the restriction site disappears.

Restriction analysis was carried out at +37 °C. Identification of products for the growth hormone gene was:

GH^{VV} – 223 bp; GH^{LV} – 223, 171, 52 bp; GH^{LL} – 171, 52 bp; for the growth hormone receptor gene: GHR^{YY} – 182 bp; GHR^{FF} – 158, 24 bp; GHR^{FY} – 182, 158, 24 bp. The digested products were separated by horizontal electrophoresis in 1x Tris-borate buffer at a voltage of 80 V in a 2.5 % agarose gel with visualization in ethidium bromide. After that, the gel was analyzed in ultraviolet light on a “UVT-1” transilluminator, the “VITran v. 1.0” system was used for photographing. Fragment length was determined using the “GenePakR DNA Ladder M 50” (IsoGene Lab, Moscow) molecular weight marker.

The studies were carried out on the equipment of Laboratory of Immunogenetics and DNA Technologies of All-Russian Research Institute of Sheep Breeding and Goat Breeding - Branch FSBSI North Caucasian Federal Agricultural Research Center (certificate PZh-77 No. 008326 from 18.04.2018) and in Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS.

The genotypes frequency was determined by the formula:

$$p = n / N,$$

where p – genotype frequency;

n – the number of individuals that have a certain genotype,

N – the number of individuals.

The allelic frequency was determined by the formula:

$$P_A = (2nAA + nAB) \div 2N,$$

where P_A – frequency of A allele;

N – a total number of individuals.

The error of genotypic and allelic frequencies were determined by the formulas:

$$S_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}, S_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{2N}}$$

where S_p – the error of frequencies;

p – frequency in sample;

N – number of individuals.

The expected frequencies of genotypes in the studied population were calculated according to the Hardy – Weinberg law.

Heterozygote excess value (Selender coefficient) was calculated by the formula:

$$D = \frac{H_o - H_e}{H_e},$$

where H_o and H_e – observed and expected heterozygosity.

The data analysis was carried out using “Statistica 10.0” (“Stat Soft Inc.”, USA) program in algorithms of non-parametric statistics. The accordance of the observed and expected genotypes with genetic equilibrium was checked by the Chi-square method (χ^2). In this case, the deviation of observed from expected frequencies of genotypes is significant at $\chi^2 \geq 5.99$. The significance of differences in the allelic and genotypic frequencies was determined by the criterion χ^2 with the Yates amendment.

Results

Analysis of genetic structure of the herd by $GH L127V$ polymorphism indicates the presence of 3 genotypes (LL-LV-VV) in the studied age categories of animals (Table 1), and the distribution of polymorphic variants in growth hormone gene corresponded to the expected distribution according to the Hardy – Weinberg equilibrium ($\chi^2 = 0.018 \dots 0.571$; $P > 0.05$). However, the genotypes frequencies varied both within groups and between generations of the Kazakh White-Headed herd. The general trend for cows and young animals was a low frequency of the homozygous GH^{VV} genotype, which varied from 0.070 in the mature part of the population to 0.140 in progeny. On the contrary, the homozygous GH^{LL} variant had a dominant distribution in the herd, unifying 46.0–52.6 % of individuals in studied age groups.

Cows differed by a high frequency of LL genotypes (by 0.066) and LV (by 0.004) relative to their progeny. While the young animals were superior by 0.070 in proportion of individuals with VV variant of the growth hormone gene compared to the mature part of the herd. However, differences between age groups did not reach a significant level ($\chi^2 = 4.451$; $P = 0.108$).

Table 1
Genetic structure of the Kazakh White-Headed breed according to $GH L127V$ and $GHR F279Y$ polymorphisms

Group	Frequencies					χ^2
	Genotype			Allele		
<i>GH L127V</i>						
	<i>LL</i>	<i>LV</i>	<i>VV</i>	<i>L</i>	<i>V</i>	
Cows	0.526 ± 0.066	0.404 ± 0.065	0.070 ± 0.034	0.728 ± 0.042	0.272 ± 0.042	0.018
Young animals	0.460 ± 0.070	0.400 ± 0.069	0.140 ± 0.049	0.660 ± 0.047	0.340 ± 0.047	0.571
Average	0.495 ± 0.048	0.402 ± 0.047	0.103 ± 0.029	0.696 ± 0.031	0.304 ± 0.031	0.267
<i>GHR F279Y</i>						
	<i>FF</i>	<i>FY</i>	<i>YY</i>	<i>F</i>	<i>Y</i>	
Cows	0.246 ± 0.057	0.333 ± 0.062	0.421 ± 0.065	0.412 ± 0.046	0.588 ± 0.046	5.524
Young animals	0.360 ± 0.068	0.380 ± 0.069	0.260 ± 0.062	0.550 ± 0.050	0.450 ± 0.050	2.746
Average	0.299 ± 0.044	0.355 ± 0.046	0.346 ± 0.046	0.477 ± 0.028	0.523 ± 0.028	8.905

The allelic frequency also differed between generations of the herd, while the frequency of the prevailing *L*-allele of the growth hormone gene varied from 0.660 to 0.728 with a maximum value in mature part of the population. The highest distribution of the alternative *V*-allele was noted in the group of young animals, which exceeded the maternal contingent by 0.068 ($P = 0.0012$).

Genotyping of the Kazakh White-Headed herd by the *GHR F279Y* polymorphism of the growth hormone receptor gene showed a discrepancy between the gene pool and the equilibrium state according to the Hardy-Weinberg law. Thus, the deviation of the observed genotypes frequency from the expected one was significant ($\chi^2 = 8.905$; $P = 0.012$) for the whole herd. However, if we consider age categories separately, then the distribution of genotypes did not differ significantly from the optimal ratio ($\chi^2 = 2.746$; $P = 0.253$) in the group of young animals. On the contrary, the mature contingent was close to the non-equilibrium state of the gene pool ($\chi^2 = 5.524$; $P = 0.063$). In addition, heterozygous individuals were most widespread in the sample of young animals with a superiority of 0.020–0.120 compared to carriers of the homozygous *GHR^{FF}* and *GHR^{YY}* genotypes, respectively. On the contrary, the highest frequency (0.421) was found in *GHR^{YY}* genotype in the gene pool of cows, which exceeded the proportion of heterozygous carriers and *GHR^{FF}* variant of the growth hormone receptor gene by 8.8–17.5 %, respectively.

There were significant differences ($\chi^2 = 12.103$; $P = 0.002$) in the distribution of homozygous genotypes carriers when compare the gene pool structures of two age groups for the growth hormone receptor gene. So, individuals with *GHR^{YY}* variant (0.260) hold the minimum distribution among the young animals, while this genotype was predominant in the sample of the mature contingent with a superiority of 16.1 % relative to the progeny. The reverse trend was revealed when analyzing the frequency of *GHR^{FF}* variant of the growth hormone receptor gene, just as the proportion of young carriers exceeded the similar genotype by 11.4 % in cows. The differences were minimal (4.7 %) between the number of heterozygous individuals in two generations of Kazakh White-Headed cattle.

Features of the genetic structure according to the polymorphism in growth hormone receptor gene were associated with different allelic frequencies in a separate age categories of the population. Characteristically, there was a relatively low difference (0.100–0.176) in distribution of alternative alleles in *GHR* gene compared to that recorded in *GH* gene (0.320–0.456) both for the dams' and for young animals' contingent. In addition, the rank according to the allelic frequency in growth hormone receptor gene was not the same in different generations of animals. Thus, there were individuals with the *Y*-allele with the highest frequency among the mature contingent, and the advantage was on the side of the *F*-allele carriers in the group of young animals. The difference in the distribution of the corresponding alleles was 0.138 between the studied age categories of the herd.

The studied Kazakh White-Headed herd was characterized by different levels of intrapopulation variability depending on the analyzed polymorphism and age group (Table 2). The observed heterozygosity (H_o) for the growth hormone gene averaged 0.402 and exceeded this parameter for the growth hormone receptor gene by 0.047 in the population. However, the expected heterozygosity (H_e) had an inverse distribution rank in the context of the studied genes. Thus, this indicator for *GHR F279Y* polymorphism was 0.499, which exceeded the theoretical genetic diversity for the growth hormone gene by 0.076 during herd genotyping.

A common feature for the studied age groups and the analyzed nucleotide substitutions was the excess of the expected heterozygosity over the observed one, except *GH L127V* polymorphism in the mature part of the herd, where the difference was 0.008 between H_o and H_e . This indicates a certain decrease in the genetic diversity level due to non-random crossing and the pressure of artificial selection, as well as an increase in population inbredness. A more significant difference between the observed and expected variability parameter was noted in growth hormone receptor gene according to the heterozygosity test, which varied in animals of different generations within –0.115 ... –0.152, and on average for the herd reached –0.144, which differed by –0.123 from the corresponding index in *GH L127V* polymorphism.

Table 2
Assessment of the genetic diversity in Kazakh White-Headed breed by *GH L127V* and *GHR F279Y* polymorphisms

Group	Heterozygosity		Heterozygosity test	Heterozygote excess value (D)
	Observed (H_o)	Expected (H_e)		
<i>GH L127V</i>				
Cows	0.404	0.396	0.008 $H_o > H_e$	0.020
Young animal	0.400	0.449	-0.049 $H_o < H_e$	-0.109
Average	0.402	0.423	-0.021 $H_o < H_e$	-0.050
<i>GHR F279Y</i>				
Cows	0.333	0.485	-0.152 $H_o < H_e$	-0.313
Young animal	0.380	0.495	-0.115 $H_o < H_e$	-0.232
Average	0.355	0.499	-0.144 $H_o < H_e$	-0.289

The deficiency of heterozygotes in Kazakh White-Headed population is also confirmed by the Selender coefficient (D), which had negative values in all cases (except for cows genotyped for *GH L127V* polymorphism). This indicates a deviation of the herd gene pool from the optimal state.

Discussion and Conclusion

Scientists and practitioners pay special attention to the gene pool state in domestic herds for genes that are reliably associated with meat qualities of animals to implement the program for the genetic improvement of beef cattle. Somatotropic axis genes (*GH*, *GHR*, *Pit-1*, *IGF-1*) fully satisfy this requirement, as they encode proteins that make up a single humoral chain and providing the growth and differentiation of organs and tissues [10, p. 58].

The bovine growth hormone gene is located on 19 chromosome and is approximately 1793 bp long, consists of 5 exons and 4 introns [11, p. 9]. The gene product (growth hormone) is secreted in somatotropic or acidophilic cells of the mammalian anterior pituitary gland [12]. Many researches have been carried out to study the structure of *bGH* as well as its SNP due to the critical role of *GH* in improving animal performance [13, p. 157; 14; 15, p. 5]. At least 10 single nucleotide polymorphisms have been identified in growth hormone gene: four in promoter region, one in region of the first exon, one in third intron, and four in fifth exon. Our studies was based in analysis of the genetic structure of Kazakh White-Headed herd according to *GH g.2141C > G (GH L127V)* polymorphism, which results in a non-synonymous replacement of leucine for valine (*Leu > Val*) amino acids in 127codon of the gene. This mutation is associated with different concentrations of growth hormone in the blood serum of bulls, what can affect unequal average daily gains in carriers of different genotypes. We identified three genotypes with different frequencies when genotyping Kazakh White – Headed cattle according to the *GH L127V* polymorphism. Carriers of LL genotype hold the largest proportion (49.5 %), and the VV variant (10.3 %) accounted for a smaller part of the herd. These data partially coincided with the results obtained on the Kazakh White-Headed breed in Russian ($P_{LL} = 48.8\%$ and $P_{VV} = 3.7\%$) and Kazakh populations ($P_{LL} = 63.3\%$ and $P_{VV} = 5.1\%$) [16, p. 1450]. The authors of the scientific work noted that the Kazakh selection is genetically different from domestic representatives of the breed. This is confirmed by the allelic distribution of the growth hormone gene in different populations. Thus, the frequencies of the minor *V*-allele were 0.275 and 0.304 (in our studies) in Russian herds, while it was 0.209 in the Kazakh population. In addition, data on the distribution of *L*-allele are presented in Herefords ($P_L = 0.69$) and Limousines ($P_L = 0.71$) [6, p. 55], which fully confirm the allelic ratio established in the herd of the breeding farm “Krasny Oktyabr”. Large-scale studies were car-

ried out on 9 beef breeds in South East Asia, as a result the wide ranges of the *L*-allele ($P = 0.423\dots 0.719$) and *V*-allele ($P = 0.281\dots 0.577$) frequencies were revealed in different cattle [17, p. 5].

The bovine *GHR* gene is located on 20 chromosome and encodes a transmembrane growth hormone receptor belonging to a large superfamily of cytokine and hematopoietic growth factor receptors [18, p. 71; 19, p. 352]. The growth hormone receptor is a transducer of the growth hormone action, which plays a key role in lipid and carbohydrate metabolism [20, p. 35]. Analysis of mutations reveals ten polymorphic regions in the bovine *GHR* gene [21, p. 64]. Four mutations were SNPs in introns, one was in the 3'-untranslated region, three were synonymous mutations at the third position of codon, and two SNPs modified the amino acid sequence. The T→A nucleotide substitution in eighth exon causes a change in the amino acid sequence from phenylalanine to tyrosine at position 279 (*F279Y*). A new PCR-RFLP protocol was developed and 679 animals belonging to seven cattle breeds were genotyped in Italy to analyze this mutation [22, p. 417]. In their studies, all breeds were characterized by a high distribution (50.9–89.4 %) of the *FF*-genotype in the herds, while the proportion of *GHR^{YY}* had a minimal number (0.0–5.6 %) of individuals. On the contrary, in our work, the largest number of animals were carriers of the heterozygous (35.5 %) and homozygous *YY*-genotypes (34.6 %). The genotyping of two crossbred beef herds confirm the overwhelming advantage in distribution of *GHR^{YY}* and *GHR^{FY}* variants, which varied within 97.5–98.5 % in the aggregate [23, p. 6]. Thus, a wide range of genotype frequencies was observed, which is reflected in a different allelic distribution. Thus, the presence of *Y*-allele was 0.086-0.370 when genotyped the Kazakh White-Headed breed of Kazakh selection [24, p. 263]. In our work, the frequency of this allele reached 0.523 on average for the herd.

When studying the dynamics of the distribution in allelic frequencies for *GH L127V* and *GHR F279Y* polymorphisms in two different generations of animals, it is necessary to note a fairly high homogeneity of the gene pool for the growth hormone gene, and, on the contrary, a significant genetic differentiation of the herd for the growth hormone receptor gene. This is confirmed by the differences in allelic (F and Y) frequencies between particular age groups of Kazakh White – Headed cattle, which is expressed in significant deviations ($\chi^2 = 8.905$; $P = 0.012$) of observed from expected genotype frequencies in accordance with the Hardy-Weinberg equilibrium in the general population [25, p. 167].

As a result, for the first time, data were obtained on the evaluation of the genetic structure of Kazakh white-headed mature herd and replacement young animals of Volgograd selection according to *GH L127V* and *GHR F279Y* polymorphisms, associated with indicators of meat productivity. The results of the herd gene

pool analysis indicate that *L*- and *V*-alleles are present in growth hormone gene locus, as well as *F* and *Y* in growth hormone receptor gene locus in two successive generations (mature herd and progeny). Moreover, if *V*-allele ($P = 0.272-0.340$) in *GH L127V* polymorphism was distinguished as minor in the studied age groups, then alternative alleles in *GHR F279Y* polymorphism had an unequal frequency rank in different categories of animals. The genotypes distribution in growth hormone gene polymorphism was more balanced according to the Hardy-Weinberg law, and the population deviated significantly ($P < 0.05$) from the equilibrium state in growth hormone receptor gene. Differences in particular genotypes frequencies for the growth hormone gene did not reach a significant level ($\chi^2 = 4.451$; $P = 0.108$)

between cows and young animals. Whereas, there were significant differences ($\chi^2 = 12.103$; $P = 0.002$) in presence of homozygous genotypes carriers for growth hormone receptor gene, which was due to the use of a heterozygous sire for this polymorphism in herd reproduction. Thus, the presence of different allele's carriers of the studied genes creates the prerequisites for the introduction of marker-assisted selection in the herd aimed at increasing the meat productivity of Kazakh White-Headed cattle.

Acknowledgements

This work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBR FRC BST RAS (No. 0526-2021-0001).

References

1. Beketov S. V., Piskunov A. K., Voronkova V. N., Stolpovsky Y. A., Petrov S. N., Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Zinovieva N. A., Selionova M. I. Geneticheskoe raznoobrazie i filogeniya pukhovyykh koz Tsentral'noy i Sredney Azii [Genetic diversity and phylogeny of fleece-bearing goats of Central and Middle Asia] // Russian Journal of Genetics. 2021. Vol. 57. No. 7. Pp. 816–824. (In Russian.)
2. Otarov A. I., Kayumov F. G., Tretyakova R. Rost, razvitiye i myasnyye kachestva chistoporodnykh i pomeshnykh bychkov pri otkorme na ploshchadke v zavisimosti ot sezona goda [Growth, development and meat qualities of purebred and crossbred bulls when feeding on the site, depending on the season of the year] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 3 (89). Pp. 267–272. (In Russian.)
3. Dzhulamanov K. M., Gerasimov N. P., Dubovskova M. P., Baktygalieva A. T. Polymorphisms of CAPN1, CAST, GDF5, TG5 and GH genes in Russian Hereford cattle // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25. No. 2. Pp. 375–379.
4. Dubovskova M. Osobennosti selektsii skota gerefordskoy porody vnutriporodnogo tipa Dmitriyevskiy severokavkazskoy populyatsii s uchetom polimorfizma GH (L127V) i LEP/A80V [Breeding peculiarities of Hereford cattle of the intra-breed type Dmitrievsky, North Caucasian population, taking into account polymorphism GH (L127V) and LEP/A80V] // Animal Husbandry and Fodder Production. 2020. Vol. 103. No. 4. Pp. 85–95. (In Russian.)
5. Tyulebaev S. D., Stolpovskiy Yu. A., Lukyanov A. A., Litovchenko V. G., Koshcheeva A. V. K sozdaniyu novogo tipa myasnogo skota dlya severo-zapada i Tsentral'nykh regionov RF [To the creation of a new type of meat cattle for the Northwest and the Central regions of the Russian Federation] // Zootechniya. 2019. No. 1. Pp. 7–10. (In Russian.)
6. Sedykh T. A., Gizatullin R. S., Dolmatova I. Yu., Gusev I. V., Kalashnikova L. A. Polimorfizm gena somatotropnogo gormona v svyazi s kachestvom tush myasnogo skota [Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality] // Russian Agricultural Sciences. 2020. Vol. 46. No. 3. Pp. 53–57. (In Russian.)
7. Fedota O. M., Ruban S. Yu., Lysenko N. G., Goraichuk I. V., Tyzhnenko T. V., Mitioglo L. V., Dzhus P. P., Birukova O. D. Analysis of SNPs F279Y and S555G in growth hormone receptor gene in beef and dairy cattle breeds // Journal for Veterinary Medicine, Biotechnology and Biosafety. 2017. Vol. 3. No. 2. Pp. 37–44.
8. Gontyurev V. A., Tyulebaev S. D., Makaev Sh. A. Rezul'taty otsenki sozdavaemykh novykh liniy kazakhskoy belogolovoy porody [The results of evaluation of the newly created lines of Kazakh White-Headed cattle] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 3 (71). Pp. 207–210 (In Russian.)
9. Khaynatskiy V. Yu., Gontyurev V. A., Dzhulamanov K. M., Iskanderova A. P., Tyulebaev S. D. Kazakhskaya belogolovaya – pervaya otechestvennaya spetsializirovannaya poroda myasnogo skota [The Kazakh White-Headed breed - the first domestic specialized a breed of beef cattle] // Dairy and beef cattle breeding. 2020. No. 2. Pp. 7–10. (In Russian.)
10. Beishova I. S. Polimorfizmy genov somatotropinovogo kaskada, assotsirovannyye s myasnoy produktivnost'yu korov kazakhskoy belogolovoy porody [The polymorphism of genes of the somatotrophic cascade associated with meat productivity in Kazakh White-headed cows] // Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018. No. 69 (1). Pp. 58–62. (In Russian.)
11. Selionova M. I., Plakhtyukova V. R. Myasnaya produktivnost' bychkov kazakhskoy belogolovoy porody raznykh genotipov po genam CAPN1 i GH [Meat productivity of Kazakh Whiteheaded steers of different genotypes by genes CAPN1 and GH] // Dairy and beef cattle breeding. 2020. No. 4. Pp. 9–12. (In Russian.)

12. Miroshnikov S. A., Kharlamov A. V., Frolov A. N., Zavyalov O. A. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 624. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012024.
13. Ro Y., Choi W., Kim H. et al. Prepubertal growth and single nucleotide polymorphism analysis of the growth hormone gene of low birth weight Holstein calves // Journal of Veterinary Science. 2018. Vol. 19 (1). Pp. 157–160. DOI: 10.4142/jvs.2018.19.1.157.
14. Bordonaro S., Tumino S., Marletta D., De Angelis A., Di Paola F., Avondo M., Valenti B. Effect of GH p.L127V Polymorphism and Feeding Systems on Milk Production Traits and Fatty Acid Composition in Modicana Cows // Animals: an Open Access Journal from MDPI. 2020. Vol. 10. DOI: 10.3390/ani10091651.
15. Amerkhanov Kh. A., Kayumov F. G., Tretyakova R. F. Deystvie polimorfizma gena gormona rosta na vesovoy rost telok [The effect of the gene polymorphism of growth hormone on the weight growth of heifers] // Dairy and beef cattle breeding. 2020. No. 5. Pp. 5–8. (In Russian.)
16. Gorlov I. F., Fedunin A. A., Randelin D. A., Sulimova G. E. Polimorfizm genov bGH, RORC i DGAT1 u myasnykh porod krupnogo rogatogo skota [Polymorphisms of bGH, RORC, and DGAT1 Genes in Russian Beef Cattle Breeds] // Russian Journal of Genetics. 2014. Vol. 50. No. 12. Pp. 1448–1454. (In Russian.)
17. Sutarno. Genetic Diversity within and between Breeds of Beef Cattle. 2. Growth Hormone Gene // BioSMART. 1999. Vol. 1. No. 2. Pp. 1–7.
18. Nametov A. M., Beishova I. S., Kovalchuk A. M., Poddudinskaya T. V., Belaya A. V. Analysis of the genetic structure of the Hereford population bred in Kazakhstan // Advances in Animal and Veterinary Sciences. 2019. Vol. 7. Special Issue 1. Pp. 71–77. DOI: 10.17582/journal.aavs/2019/7.s1.71.77.
19. Fedota O., Lysenko N. G., Ruban S. Y., Kolisnyk O. I., Goraychuk I. V. The effects of polymorphisms in growth hormone and growth hormone receptor genes on production and reproduction traits in Aberdeen-Angus cattle (*Bos taurus* L., 1758) // Cytology and Genetics. 2017. Vol. 51. Pp. 352–360. DOI: 10.3103/S0095452717050024.
20. Dehkhoda F., Lee C. M. M., Medina J., Brooks A. J. The Growth Hormone Receptor: Mechanism of Receptor Activation, Cell Signaling, and Physiological Aspects. // Frontiers in Endocrinology. 2018. Vol. 9. Pp. 35. DOI: 10.3389/fendo.2018.00035.
21. Tarasova E., Notova S. Geny-markery produktivnykh kharakteristik molochnogo skota (obzor) [Gene markers of the productive characteristics of dairy cattle (review)] // Animal Husbandry and Fodder Production. 2020. Vol. 103. No. 3. Pp. 58–80. (In Russian.)
22. Fontanesi L., Scotti E., Tazzoli M., Beretti F., Dall'Olio S., Davoli R., Russo V. Investigation of allele frequencies of the growth hormone receptor (GHR) F279Y mutation in dairy and dual purpose cattle breeds // Italian Journal of Animal Science. 2007. Vol. 6 (4). Pp. 415–420.
23. White S. N., Casas E., Allan M. F., Keele J. W., Snelling W. M., Wheeler T. L., Shackelford S. D., Koohmaraie M., Smith T. P. L. Evaluation in beef cattle of six deoxyribonucleic acid markers developed for dairy traits reveals an osteopontin polymorphism associated with postweaning growth // Journal of Animal Science. 2007. Vol. 85 (1). Pp. 1–10.
24. Beyshova I. S., Traisov B. B., Kosilov V. I. Kharakteristika geneticheskoy struktury selektsionnogo pogolov'ya auliyekol'skoy i kazakhskoy belogolovoy porod po polimorfnykh genam somatotropinovogo kaskada [Characteristics of genetic structure of the Auliekolsky and Kazakh White-Head breeding cattle stock based on polymorphic genes of somatotropine cascade] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 6 (68). Pp. 261–265. (In Russian.)
25. Kuznetsov V. M. Otsenka geneticheskoy differentsiatsii populyatsiy molekulyarnym dispersionnym analizom (analiticheskiy obzor) [Assessment of genetic differentiation of populations by analysis of molecular variance (analytical review)] // Agricultural Science Euro-North-East. 2021. Vol. 22. No. 2. Pp. 167–187.

Authors' information:

Kinispay M. Dzhulamanov¹, doctor of agricultural sciences, head of the breeding and genetic center for beef cattle breeds, ORCID 0000-0001-8039-7471, AuthorID 311449; +7 987 840-49-28, kinispai.d@yandex.ru

Shakur A. Makaev¹, doctor of agricultural sciences, chief researcher of the breeding and genetic center for beef cattle breeds, ORCID 0000-0001-9617-0327, AuthorID 374026; +7 906 844-02-65, shakur.makayev@bk.ru

Nikolay P. Gerasimov¹, doctor of biological sciences, senior researcher of the breeding and genetic center for beef cattle breeds, ORCID 0000-0003-2295-5150, AuthorID 609634; +7 912 358-96-17, nick.gerasimov@rambler.ru

¹ Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Микробиоценоз кишечника радужной форели в условиях садкового хозяйства

Ю. В. Зайцева^{1✉}, Д. А. Доколин¹, И. В. Злобин¹

¹ Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия

✉ E-mail: zjv9@mail.ru

Аннотация. Быстрый рост индустрии аквакультуры с использованием современных интенсивных методов выращивания привел к возникновению ряда проблем, связанных с распространением инфекционных болезней рыб и качеством воды. Кишечная физиологическая микробиота рыб и окружающая водная среда составляют экосистему, баланс которой является ключевым фактором для поддержания здоровья аквакультуры. Тем не менее оптимизация микробиоты по-прежнему является сложной задачей из-за недостатка знаний о доминирующих микроорганизмах и о влиянии факторов окружающей среды. **Цель** – исследование структуры и таксономического состава культивируемого бактериального сообщества кишечника радужной форели *Oncorhynchus mykiss* в условиях садкового фермерского хозяйства «Ярославская форель». **Методы.** Для идентификации выделенных изолятов и характеристики состава общих бактериальных сообществ использовались фенотипические и биохимические характеристики, а также амплификация и секвенирование фрагментов гена 16S рРНК и последующий филогенетический анализ. **Научная новизна.** Получены данные о таксономическом разнообразии культивируемого микробиома кишечника радужной форели. Проведен сравнительный анализ микробиоценозов кишечника рыб и окружающей водной среды. **Результаты и практическая значимость.** В структуре изученных микробных сообществ доминировали гамма-протеобактерии. В составе микробиома как кишечника радужной форели, так и окружающей водной среды были обнаружены представители родов *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas* и *Aeromonas*, которые являются условно-патогенными и в стрессовых условиях могут приводить к вспышке бактериальных инфекций. Однако исследования показали, что окружающий водный микробиом не отражает микробиом водных хозяев. Микробиота кишечника рыб отличалась большим разнообразием. Сравнительный анализ микробиомов пресноводной системы и кишечника радужной форели выявил способность организма-хозяина концентрировать полезные пробиотические микроорганизмы даже в условиях патогенной нагрузки. Полученная коллекция микроорганизмов в дальнейшем будет использована для скрининга потенциальных пробиотических культур.

Ключевые слова: аквакультура *Oncorhynchus mykiss*, радужная форель, микробиом, кишечник, пробиотики.

Для цитирования: Зайцева Ю. В., Доколин Д. А., Злобин И. В. Сравнительный анализ микробиоценозов кишечника радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и водной среды в условиях садкового хозяйства // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 42–53. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-42-53.

Дата поступления статьи: 30.09.2022, **дата рецензирования:** 19.10.22, **дата принятия:** 28.10.22.

Постановка проблемы (Introduction)

Аквакультура является самым быстрорастущим сектором производства продуктов питания во всем мире. В течение десятилетий исследования физиологии питания и поведения животных заложили основы передовой практики разведения рыбы. В настоящее время рыбная продукция играет большую роль в продовольственной корзине населения, так как она обеспечивает по меньшей мере 30 % потребления животных белков. Кроме того, рыба составляет основу для устойчивого производства высоко-

белковых кормов в рационах сельскохозяйственных животных [1].

Интенсификация технологии разведения, как правило, направлена на увеличение производства товарной рыбы за счет более высокой плотности особей и применения искусственного кормления. В данных условиях увеличивается вероятность взрывного повышения численности бактерий, что может нести негативные последствия, в том числе увеличение бактериальной обсемененности органов рыбы [2]. Возникающие вспышки инфекций

препятствуют высокотехнологичному производству товарной рыбы и устойчивому экономическому развитию предприятий, а также могут оказывать потенциальное негативное воздействие на здоровье населения [3; 4]. Для многих бактериальных заболеваний протоколы вакцинации объектов аквакультуры отсутствуют, а чрезмерное использование антибиотиков и других химических веществ вызывает серьезную озабоченность [5; 6]. Более привлекательной выглядит стратегия защиты рыбы от возникающих болезней за счет создания и поддержания «здорового» микробиома [7; 8].

Известно, что поверхности слизистых оболочек позвоночных населены невероятно плотными и сложными популяциями комменсальной микробиоты. Микробиомы играют критически важную роль в организме хозяина, включая укрепление здоровья и обеспечение «сопротивления» условно-патогенным микроорганизмам [9]. Кишечник рыб, как и у млекопитающих, отличается разнообразной микробиотой, способствующей усвоению питательных веществ и увеличению веса, различной метаболической активности хозяев, а также помогает функционированию иммунной системы и ингибированию патогенов [10–12]. Потенциальные патогены в основном попадают в организм рыб через эпителиальные барьеры их слизистых оболочек. Баланс между членами кишечного микробного сообщества, т. е. комменсалами, симбионтами, или патогенными бактериальными штаммами, в совокупности образующими микробиом, важен для сохранения здоровья рыб. Таким образом, изучение структуры ассоциированных с рыбой микробных сообществ послужит ориентиром для изучения этиологии и патогенеза многих заболеваний.

С другой стороны, корм и вода, в которой выращивается рыба, играют жизненно важную роль в формировании микробиома кишечника [11; 13]. Большинство исследований на сегодняшний день сосредоточено на микробиомах отдельных организмов, связанных с хозяином, однако лишь в немногих исследованиях используется комплексный подход к изучению микробиомов водных позвоночных с учетом как связанной с хозяином, так и свободноживущей микробиоты в экосистеме. Знание микробного разнообразия и химических параметров водоемов также важно для понимания экологии водных бактерий в аквакультуре и объяснения потенциальной роли микроорганизмов в биосфере. Необходимы фундаментальные исследования разнообразия и пространственно-временной динамики микробных сообществ, связанных с рыбами, как молекулярными, так и классическими методами микробиологии.

Целью настоящей работы было исследование структуры и таксономического состава культивируемого бактериального сообщества кишечника радужной форели *Oncorhynchus mykiss* в условиях

садового фермерского хозяйства «Ярославская форель».

На сегодняшний день радужная форель представляет значительную долю рыбной продукции на мировом рынке, поэтому является удобным модельным объектом для исследования разнообразия микробных сообществ, связанных с данным видом [2].

В практическом приложении полученные результаты могут быть использованы для контроля и корректировки условий содержания и разведения радужной форели в промышленных масштабах. В теоретическом аспекте полученные данные могут расширить представления о взаимоотношениях микроорганизмов, хозяина и окружающей среды, что очень важно для создания здорового микробиома в культивируемых организмах, а также в системах аквакультуры.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследования являлись культивируемый микробиом кишечника радужной форели, а также культивируемый микробиом водной среды, в которой выращивалась аквакультура. Десять особей радужной форели (*O. mykiss*) были отобраны 12 апреля 2022 г. на рыбном хозяйстве в Ярославской области. Средняя длина особей составляла 38,12 см, средняя масса – 1100 г. Рыбы до отбора содержались в садке в открытом водоеме (глубина садка – 5 м). Параллельно отбирали пробы воды из садка и водоема.

Отбор проб рыбы соответствовал руководящим принципам ARRIVE2, директиве ЕС 2010/63/EU и законам Российской Федерации о защите животных. Протокол отбора проб и применяемые процедуры были рассмотрены с этической точки зрения и одобрены Ярославским государственным университетом (протокол от 01.04.2022).

После изъятия особей из водоема для каждой особи применяли анестетик бензокаин (Merck Life Science LLC, Германия) и разрушали головной мозг. Далее рыбу доставляли в лабораторию и в стерильных условиях проводили вскрытие. После вскрытия иссекали кишечник и отбирали содержимое для определения бактериальной обсемененности. В общей сложности было отобрано и проанализировано 20 проб биологического материала, полученного от особей *O. mykiss*.

Все образцы рыбы были гомогенизированы в 0,9-процентном растворе хлорида натрия с помощью гомогенизатора Ultra-Turrax T 10 basic (IKA, Германия) в соотношении 1/10. Из исходного гомогената выполняли десятичные разведения в 0,9-процентном растворе хлорида натрия и аликвоты по 0,05 мл высевали на обедненный мясопептонный агар (МПА). Инкубацию чашек Петри проводили в аэробных условиях до 48 ч при 28 °С. Затем чашки Петри с посевами извлекали и производили подсчет колоний. Полученные данные использо-

вали для расчета значений КОЕ/мл (для образцов воды) и КОЕ/г (для образцов рыбы). Предварительное определение выделенных бактериальных изолятов проводили по совокупности культуральных, морфологических и биохимических признаков [14]. Основных представителей всех групп выделяли в чистую культуру. Для полученных изолятов определяли биохимические параметры (отношение к O_2 , наличие каталазной и оксидазной активностей, способность к расщеплению желатина и сахарозы). Также определялась грампринадлежность выделенных штаммов методом окраски по Граму, способность к образованию спор методом окраски препарата по Пешкову (для грамположительных микроорганизмов).

Филогенетическую идентификацию выделенных изолятов проводили с помощью секвенирования фрагментов генов 16S рНК.

Тотальную ДНК из суточных культур микроорганизмов выделяли с помощью набора ExtractDNA («Евроген», Москва) в соответствии с инструкциями производителя. Гены 16S рНК были амплифицированы с использованием универсальных прокариотических праймеров 16S-9F (5'-GAGTTTGTATCCTGGCTCAG), 16S-1512R (5'-ACGGCTACCTTGTTACGACTT). ПЦР проводилась с помощью коммерческого набора «БиоМастер HS-Тақ ПЦР-Color (2x)», оптимизированного для ПЦР с горячим стартом согласно инструкциям производителя («Биолабмикс», Новосибирск). Условия ПЦР: предварительная денатурация 95 °С – 4 минуты; затем 30 циклов (денатурация 95 °С – 1 минута, отжиг 55 °С – 1 минута, элонгация 72 °С – 1,5 минуты); финальная элонгация 72 °С – 5 минут. Детекция результатов ПЦР осуществлялась методом электрофореза в 1,5-процентном агарозном геле. Выделение и очистка амплифицированных генов 16S рНК производились с помощью набора CleanupMini («Евроген», Москва) согласно инструкциям производителя.

Идентификацию бактерий на основании анализа первичной нуклеотидной последовательности гена 16S рНК проводили с использованием базы данных GenBank и программного обеспечения Basic Local Alignment Search Tool Nucleotide (BLAST-N), расположенного на площадке NCBI (National Center for Biotechnology Information) (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Филогенетическое дерево было построено с использованием метода максимального правдоподобия и модели Tamura-Nei [15]. Эволюционный анализ проводился с использованием программы MEGA11 [16]. Визуализация филогенетических деревьев проводилась с помощью платформы Interactive Tree of Life (iTOL) [17].

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения MS Office (Excel).

Результаты (Results)

Исследования проводились в условиях фермерского хозяйства «Ярославская форель», которое занимается выращиванием аквакультуры *O. mykiss*. Водоем технически разделен на две области: садковая часть, занимающая 10 % от площади водоема, в которой содержится форель, и открытая часть водоема. На момент отбора проб температура воды садковой части составила 2,5 °С, pH = 7,9, концентрация растворенного в воде кислорода – 5,2 мг/дм³. Температура воды открытой части составила 2,5 °С, pH = 7,7, концентрация растворенного в воде кислорода – 5,3 мг/дм³. Гидрохимические показатели характеристик воды в пруду находились в пределах благоприятного диапазона для разведения пресноводных рыб. Температура воды и значения pH как садковой, так и открытой части водоема садкового хозяйства «Ярославская форель» соответствовали оптимальным значениям, необходимым для нормального функционального состояния организма рыб в весенний период [18].

Общее количество микроорганизмов в садковой части водоема составило $1,9 \times 10^2$ КОЕ/мл, в открытой части водоема – $5,2 \times 10^2$ КОЕ/мл. Известно, что 10^4 КОЕ/г является порогом содержания микроорганизмов в водоеме, при его превышении резко возрастает обсемененность внутренних органов рыбы [19]. В данном исследовании показано, что при полученных значениях гидрохимических параметров среды количество микроорганизмов в садковой части водоема не превышало данный показатель.

Обсемененность кишечника у исследованных особей радужной форели составляла $8,1 \times 10^3$ КОЕ/г. Таким образом, плотность бактериальной популяции в кишечнике была в 10 раз выше по сравнению с водной средой. Общее количество микроорганизмов в воде и кишечнике рыб сопоставимо с ранее полученными результатами для данных температурных условий [20].

Проведен анализ разнообразия культивируемого микробиома кишечника клинически здоровой рыбы. Работа была сосредоточена на доминирующей части микрофлоры, поскольку эти организмы могут играть важную роль в естественных условиях. Всего из содержимого кишечника *O. mykiss* было выделено 253 изолята. Проводили учет колоний бактерий разных таксономических групп. Кислая среда кишечника благоприятствует размножению грамотрицательных бактерий [13]. Среди выделенных изолятов абсолютное большинство относилось к грамотрицательным микроорганизмам.

Создана коллекция культивируемых гетеротрофных бактерий, выделенных из кишечника радужной форели. Доминирующие таксоны бактерий выделяли в чистую культуру и идентифицировали по результатам секвенирования нуклеотидных последовательностей гена 16S рДНК. Сравнение по-

следовательностей позволило определить таксономическую принадлежность и расположение штаммов кишечной микробиоты на филогенетическом древе (рис. 1). Выделенные изоляты были представлены филумами *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes* и *Bacteroidetes*.

Предыдущие исследования показали, что микробиом рыб видоспецифичен с точки зрения как бактериального разнообразия, так и структуры бактериального сообщества, демонстрируя высокую изменчивость между особями разных видов. Однако в составе микробиоты кишечника рыб доминируют несколько филумов, включая *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria* и *Fusobacteria* [21; 22].

Наши исследования показали, что *Proteobacteria*, особенно *Gamma*proteobacteria, были наиболее распространенным типом микробиоты кишечника радужной форели. Филум *Proteobacteria* представлен 5 родами бактерий: *Psychrobacter*, *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Aeromonas* и *Lysobacter* (рис. 1). Доминирующим среди всего бактериального сообщества кишечника радужной форели отмечен род *Psychrobacter* (60 %). *Psychrobacter* представляет собой широко распространенный и эволюционно успешный род бактерий, который ранее также был обнаружен в большом количестве в кишечном микробном сообществе различных видов рыб [23]. На долю рода *Aeromonas* приходилось 12 % от всего микробиома, а на долю родов *Pseudomonas*, *Moraxella* – по 1 %. Род *Lysobacter* был представлен в незначительном количестве (0,37 %) (рис. 2).

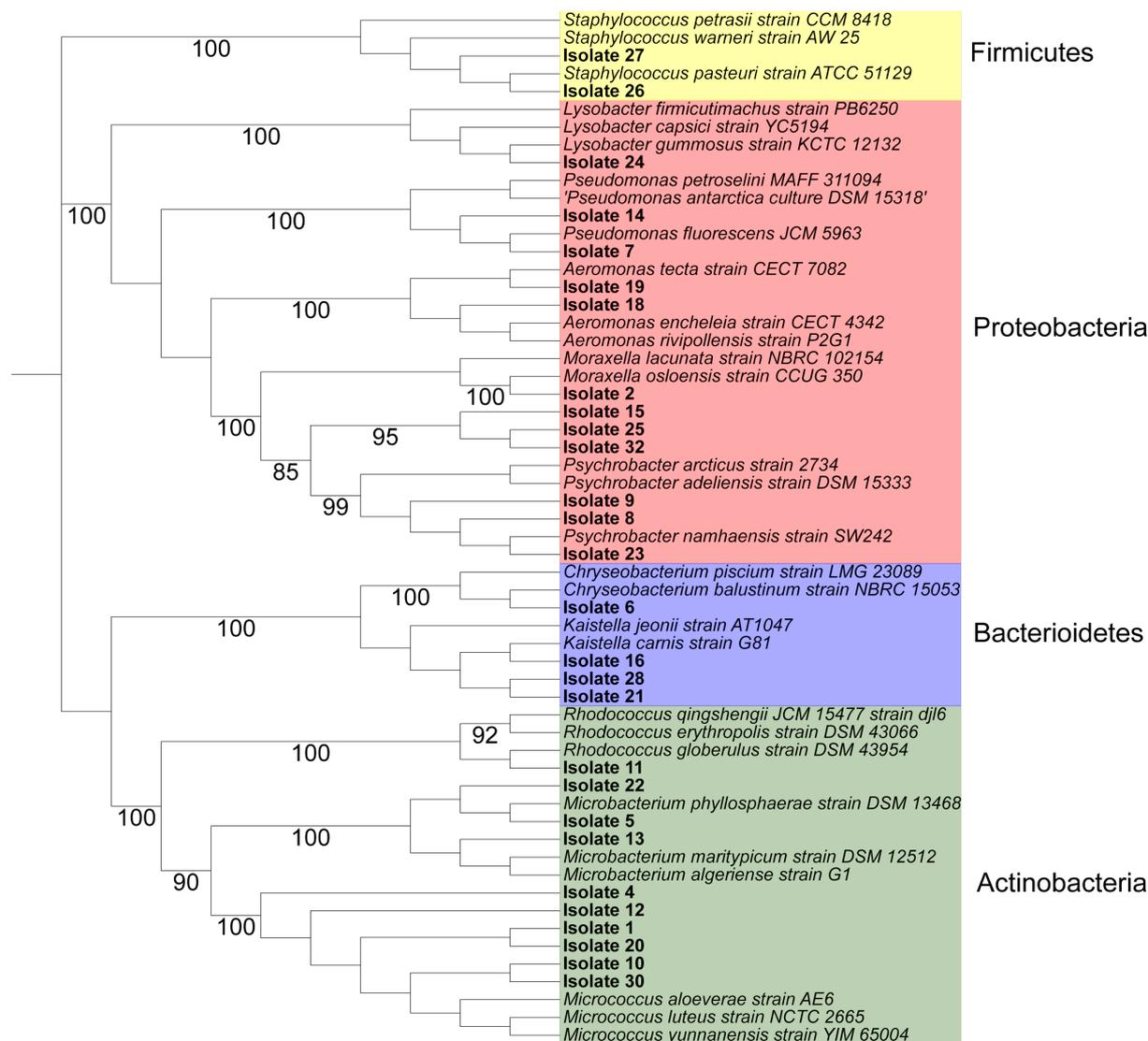


Рис. 1. Филогенетическое древо, построенное по результатам сравнения последовательностей фрагментов гена 16S rPHK штаммов, изолированных из кишечника *O. mykiss*

Fig. 1. Phylogenetic tree constructed based on the results of comparing the sequences of fragments of the 16S rRNA gene of strains isolated from the intestine of *O. mykiss*

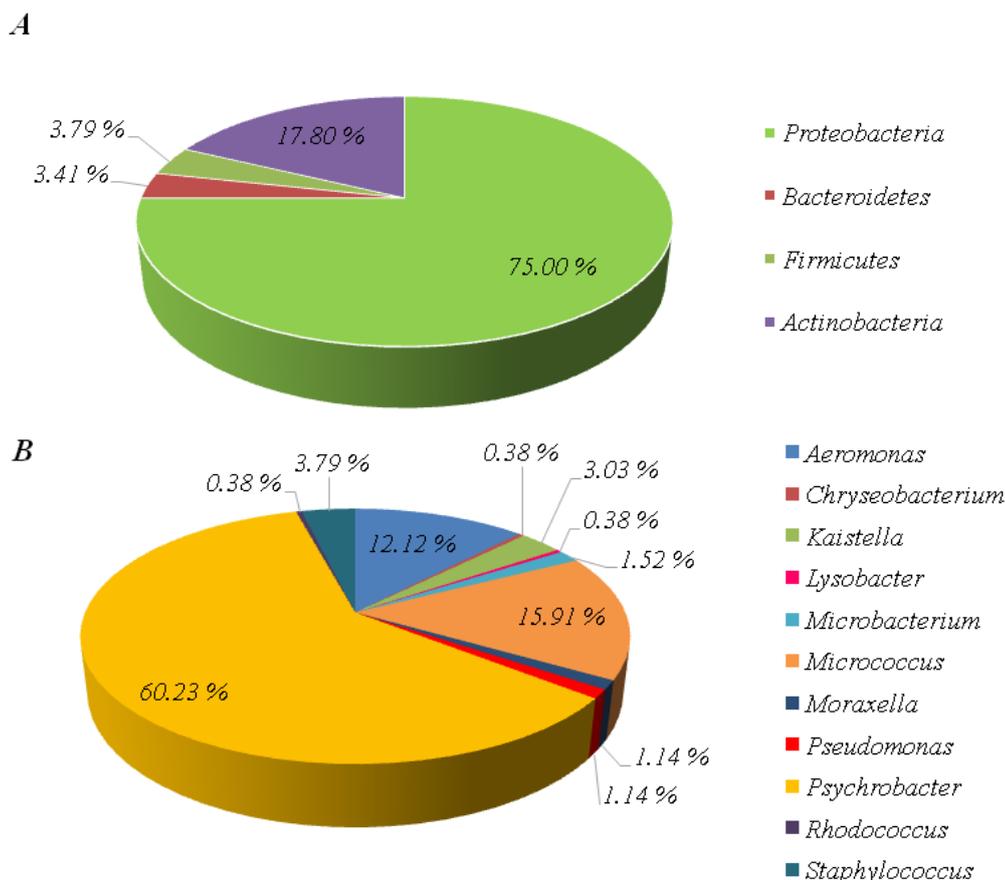


Рис. 2. Состав микробного сообщества кишечника *O. mykiss*:
 А – сравнительное обилие доминирующих филумов прокариот;
 В – разнообразие микробных сообществ на уровне родов
 Fig. 2. Composition of the intestinal microbial community of *O. mykiss*:
 А – comparative abundance of dominant phylum of prokaryotes;
 В – diversity of microbial communities at the level of genera

Примечательно, что актинобактерии также занимали значительную долю микробного сообщества кишечника радужной форели, около 18 %. Возможно, это обусловлено составом используемых кормов. Ранее были обнаружены модулирующие эффекты муки из насекомых и растительных компонентов на микробиом кишечника выращиваемой рыбы [24; 25]. Основные сдвиги в сообществах характеризовались увеличением относительного обилия *Actinobacteria* и *Firmicutes*. В нашем исследовании филум *Actinobacteria* был представлен родами *Micrococcus* (16 %), *Microbacterium* (2 %) и *Rhodococcus* (0,37 %) (рис. 2). Бактерии типа *Actinobacteria* включают таксоны, которые считаются полезными для здоровья рыб и могут продуцировать широкий спектр экзоферментов и вторичных метаболитов. В частности, сообщалось об использовании бактерий родов *Micrococcus* и *Rhodococcus* в качестве пробиотиков в аквакультуре [26; 27].

Филумы *Firmicutes* (4 %) и *Bacteroidetes* (3 %) составляли небольшую часть бактериальных сообществ кишечника радужной форели (рис. 2). Филум *Firmicutes* был представлен единственным родом *Staphylococcus*, доля которого в микробиоме состав-

ляла 4 % (рис. 1, 2) Представителей данного рода относят к аллохтонным видам в составе микробиоты кишечника рыб [28], имеются предположения о возможной роли бактерий рода *Staphylococcus* в развитии различных кишечных инфекций [29].

Филум *Bacteroidetes* был представлен родами *Kaistella* (3 %) и *Chryseobacterium* (0,37 %), относящимися к семейству *Flavobacteriaceae*. Представители этого семейства являются типичными микроорганизмами, колонизирующими рыб, часто их признают опасными патогенами животных [8].

Живые организмы невозможно рассматривать в отрыве от окружающей их среды, поэтому логично было бы предположить, что микробиом среды способен оказывать влияние на состав микробиома организма. Кроме того, хорошо известно, что такие факторы, как диета, качество воды, сезонность, физиология хозяина, инфекции и стресс, могут формировать состав микробиомов рыб и влиять на баланс микробных экосистем [30]. Однако окружающий водный микробиом не всегда отражает микробиом водных хозяев. В предыдущих исследованиях мы продемонстрировали, что микробиом кожи форели отличался от микробиома водной среды [31].

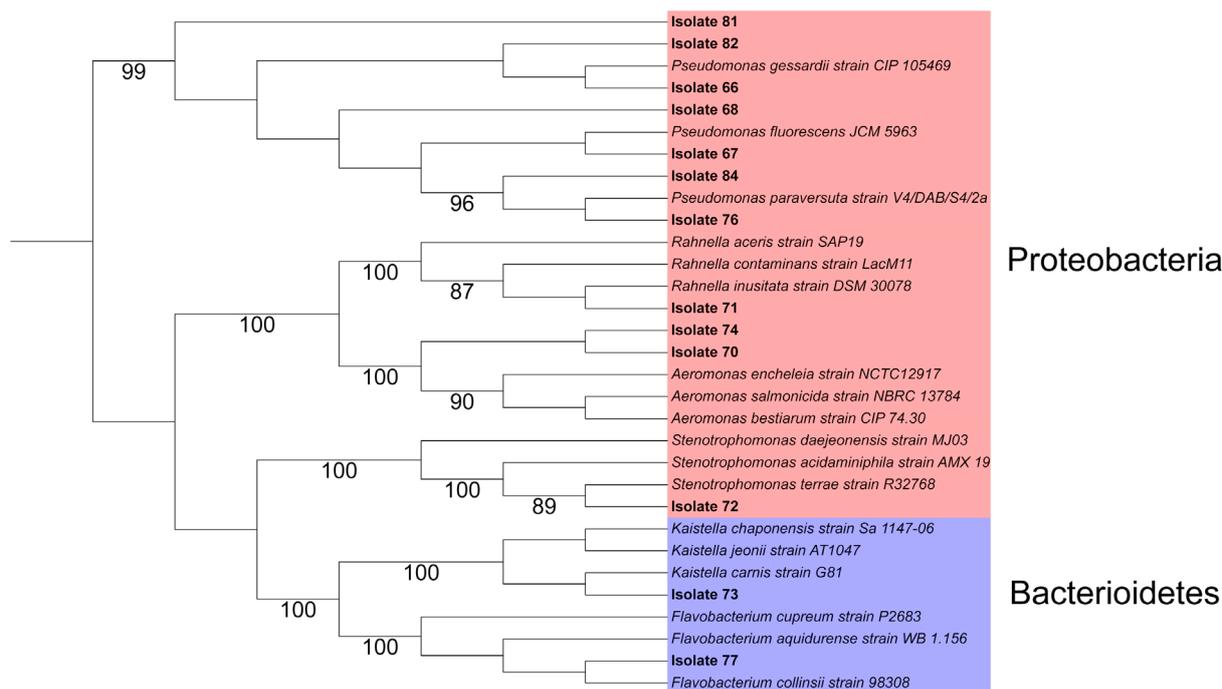


Рис. 3. Филогенетическое дерево, построенное по результатам сравнения последовательностей фрагментов гена 16S рРНК штаммов, изолированных из садковой воды
 Fig. 3. A phylogenetic tree constructed based on the results of comparing sequences of fragments of the 16S rRNA gene of strains isolated from cage water

В данном исследовании мы провели анализ взаимосвязи бактериологического профиля кишечника рыб с бактериальным составом водной среды. В нашем случае кишечный микробиом был значительно более разнообразным, чем в образцах воды.

Культивируемое микробное сообщество воды в садке было представлено всего двумя филумами – *Proteobacteria* и *Bacteroidetes* (рис. 3).

Протеобактерии были наиболее многочисленным типом как в кишечнике радужной форели, так и в пробах воды. Подавляющее большинство водных бактериальных изолятов (90 %) относилось к филуму *Proteobacteria*, классу *Gammaproteobacteria*, который был представлен родами *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Rahnella*. Доминирующими были аэробные бактерии рода *Pseudomonas* (52 % от всего бактериального сообщества) и факультативно-анаэробные бактерии рода *Aeromonas* (35 %) (рис. 4). Бактерии аэромонадно-псевдомонадного комплекса являются условно-патогенными и в стрессовых условиях могут приводить к вспышке бактериальных инфекций. Кроме того, некоторые из них являются зоонозными патогенами и могут вызывать инфицирование человека [3; 4].

Представители филума *Bacteroidetes* составляли лишь 10 % бактериальной популяции водной среды. Филум *Bacteroidetes* был представлен единственным семейством *Flavobacteriaceae*, родами бактерий *Flavobacterium* (3 %) и *Kaistella* (6 %) (рис. 4). Известно, что некоторые представители

этого семейства вызывают болезни у пресноводных рыб [8]. Например, *Flavobacterium psychrophilum* является распространенным патогеном лососевых.

Таким образом, водная среда может являться источником патогенных и условно-патогенных комменсальных микроорганизмов. В дополнение к этому используются интенсивные методы выращивания рыбы, часто водоем зарыбляется с высокой плотностью, что способствует развитию инфекций.

Микробные сообщества кишечника тесно связаны с иммунитетом, разнообразный микробиом кишечника рыб в аквакультуре важен для предотвращения неблагоприятной микробной колонизации, и, хотя механизмы полностью не изучены, некоторые ключевые процессы были идентифицированы. Например, некоторые обитатели кишечника рыб могут проявлять ингибирующую активность в отношении патогенов [13]. Сообщалось, что бактерии рода *Psychrobacter*, доминирующего в бактериальном сообществе кишечника радужной форели, могут улучшать автохтонное микробное разнообразие вдоль желудочно-кишечного тракта, пищеварение и врожденный иммунитет рыб [23]. Некоторые представители рода *Psychrobacter* демонстрировали антагонистическую активность против патогенных видов *Vibrio anguillarum*, *Tenacibaculum maritimum* и *Aeromonas salmonicida*, что свидетельствует о дальнейших перспективах использования этих бактерий в качестве пробиотиков, способных оказывать положительное влияние на общее состояние здоровья рыб, тем самым повышая их устойчивость

к патогенам [32–34]. Пробиотические бактерии, используемые в аквакультуре, также способны стимулировать экспрессию воспалительных цитокинов в кишечнике рыб, увеличивать количество слизистого слоя и повышать фагоцитарную активность. Кроме того, в некоторых исследованиях было продемонстрировано, что колонизирующие микробы также могут модулировать экспрессию генов-хозяев для создания благоприятной среды в кишечнике, тем самым ограничивая инвазию патогенов, одновременно способствуя экспрессии генов противовоспалительных и противовирусных медиаторов [5]. Понимание и управление взаимодействием микробов, хозяина и окружающей среды и связанные с этим функциональные возможности в этих областях могут внести существенный вклад в создание более устойчивой отрасли аквакультуры. Использование пробиотиков в аквакультуре является привлекательным биологически безопасным методом снижения воздействия инфекционных заболеваний, но до сих пор не является широко распространенной практикой [7; 13; 32].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Микроорганизмы играют важную роль в круговороте питательных веществ, поддержании качества воды и здоровье сельскохозяйственных живот-

ных. Все больше фактов указывает на тесную связь между нестабильной микробной средой и возникновением болезней в аквакультуре.

В данной работе было исследовано состояние водоема, определен уровень бактериальной нагрузки, а также проведен анализ структуры и таксономического состава культивируемых микробных сообществ воды и кишечника радужной форели в условиях садкового хозяйства Ярославской области.

На микробиомы обитающих в воде животных оказывает влияние состав микробиома окружающей среды. В микрофлоре *Oncorhynchus mykiss* и воды были обнаружены условно-патогенные виды бактерий, которые могут представлять потенциальную опасность для рыб. Необходим дальнейший мониторинг изменений экологической ситуации и санитарно-эпизоотического состояния водоема, что позволит своевременно принять меры по снижению микробного загрязнения тканей рыб и окружающей среды.

Однако микробиомы водных животных не являются прямым отражением микробиома окружающей воды. Сравнительный анализ микробиомов пресноводной системы и кишечника радужной форели выявил способность организма-хозяина концентрировать полезные микроорганизмы даже в

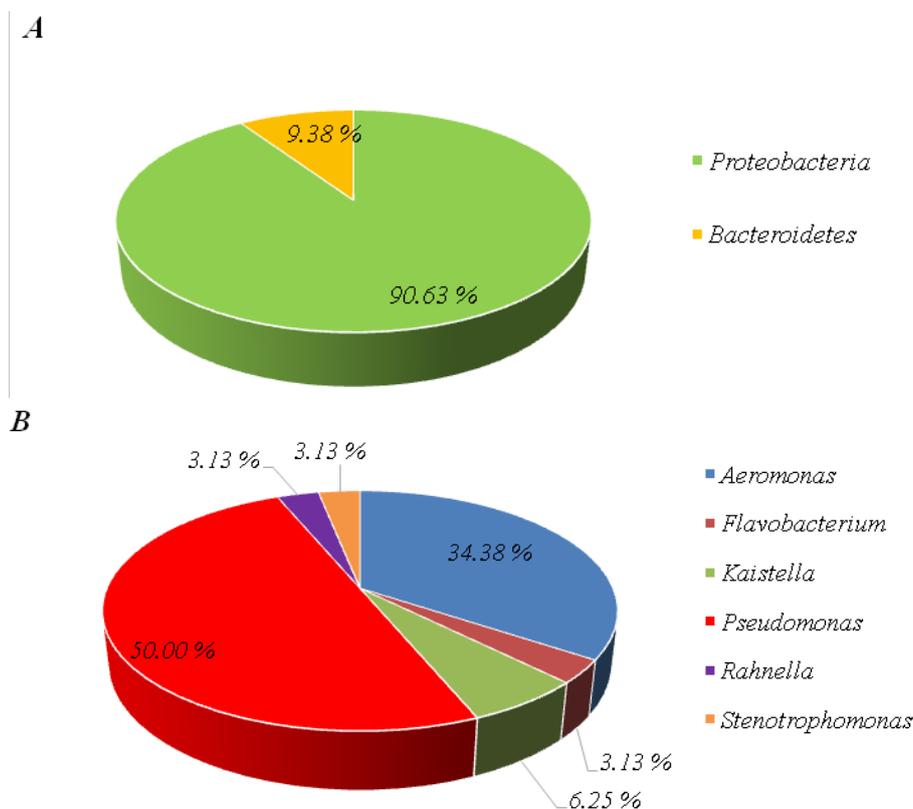


Рис. 4. Состав микробного сообщества садковой воды:
 А – сравнительное обилие доминирующих филумов прокариот;
 В – разнообразие микробных сообществ на уровне родов
 Fig. 4. Composition of microbial community of cage water:
 А – comparative abundance of dominant phylum of prokaryotes;
 В – Diversity of microbial communities at the level of genera

условиях патогенной нагрузки. Полученная коллекция микроорганизмов в дальнейшем может быть использована для скрининга потенциальных пробиотических культур. Пробиотики из автохтонного источника имеют больше шансов конкурировать с резидентными микроорганизмами, способны активно размножаться и быстро становятся преобладающими в составе микрофлоры, что может значительно улучшить устойчивость к болезням, рост и выживаемость рыбы.

Таким образом, мониторинг и манипулирование микробными сообществами в системе аквакуль-

туры имеют большой потенциал не только в поддержании качества воды, но и в борьбе с инфекционными микробными патогенами. Это поможет сократить использование химикатов и антибиотиков в системе аквакультуры. Однако успешное управление аквакультурой путем манипулирования микробиомом в настоящее время затруднено из-за недостатка знаний о соответствующих микробных взаимодействиях и общей экологии этих систем.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20123.

Библиографический список

- Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. Органическая аквакультура как перспективное направление развития рыбохозяйственной отрасли (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2018. № 53 (2). С. 326–336.
- Тыщенко В. И., Терлецкий В. П. *Oncorhynchus mykiss* в аквакультуре: биотехнологические и генетические основы разведения и селекции // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7 (109). С. 141–144.
- Ziarati M., Zorriehzahra M. J., Hassantabar F., Mehrabi Z., Dhawan M., Sharun K., Emran T. B., Dhama K., Chaicumpa W., Shamsi S. Zoonotic diseases of fish and their prevention and control // Veterinary Quarterly. 2022. Vol. 42. Iss. 1. Pp. 95–118. DOI: 10.1080/01652176.2022.2080298.
- Авдеева Е. В. Условно-патогенные бактерии рыб в естественных и искусственных водоемах Калининградской области // Труды ВНИРО. 2017. № 167. С. 104–109.
- Perry W. B., Lindsay E., Payne C. J., Brodie C., Kazlauskaitė R. The role of the gut microbiome in sustainable teleost aquaculture // Proceedings of the Royal Society B. 2020. No. 287 (1926). Article number 20200184. DOI: 10.1098/rspb.2020.0184.
- Santos L., Ramos F. Antimicrobial resistance in aquaculture: current knowledge and alternatives to tackle the problem // International Journal of Antimicrobial Agents. 2018. No. 52 (2). Pp. 135–143. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2018.03.010.
- Pérez-Pascual D., Vendrell-Fernández S., Audrain B., Bernal-Bayard J., Patiño-Navarrete R., Petit V., Rigaud-eau D., Ghigo J. M. Gnotobiotic rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) model reveals endogenous bacteria that protect against *Flavobacterium columnare* infection // PLoS pathogens. 2021. No. 17 (1). Article number e1009302. DOI: 10.1371/journal.ppat.1009302.
- Ikeda-Ohtsubo W., Brugman S., Warden C. H., Rebel J. M. J., Folkerts G., Pieterse C. M. J. How can we define “optimal microbiota”? A comparative review of structure and functions of microbiota of animals, fish, and plants in agriculture // Frontiers in nutrition. 2018. No. 5 (90). DOI: 10.3389/fnut.2018.00090.
- Vasemägi A., Visse M., Kisand V. Effect of environmental factors and an emerging parasitic disease on gut microbiome of wild salmonid fish // mSphere. 2017. No. 2 (6). Article number e00418-17. DOI: 10.1128/mSphere.00418-17.
- Xiong J. B., Nie L., Chen J. Current understanding on the roles of gut microbiota in fish disease and immunity // Zoological research. 2019. No. 40 (2). Pp. 70–76. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2018.069.
- Butt R. L., Volkoff H. Gut microbiota and energy homeostasis in fish // Frontiers in Endocrinology (Lausanne). 2019. No. 10. Pp. 6–8. DOI: 10.3389/fendo.2019.00009.
- Pérez-Pascual D., Pérez-Cobas A. E., Rigaudeau D., Rochat T., Bernardet J. F., Skiba-Cassy S., Marchand Y., Duchaud E., Ghigo J. M. Sustainable plant-based diets promote rainbow trout gut microbiota richness and do not alter resistance to bacterial infection // Animal microbiome. 2021. No. 3 (1). Pp. 1–13. DOI: 10.1186/s42523-021-00107-2.
- Sehnal L., Brammer-Robbins E., Wormington A. M., Blaha L., Bisesi J., Larkin I., Martyniuk C. J., Simoin M., Adamovsky O. Microbiome composition and function in aquatic vertebrates: small organisms making big impacts on aquatic animal health // Frontiers in microbiology. 2021. No. 12. Article number 567408. DOI: 10.3389/fmicb.2021.567408.
- Хоулт Дж., Криг Н. Определитель бактерий Берджи: в 2-х томах. Том 1 / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. Изд. 9-е. Москва: Мир, 1997. 429 с.
- Tamura K., Nei M. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees // Molecular Biology and Evolution. 1993. No. 10 (3). Pp. 512–526.

16. Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets // *Molecular Biology and Evolution*. 2016. No. 33 (7). Pp. 1870–1874.
17. Letunic I., Bork P. Interactive Tree Of Life (iTOL): an online tool for phylogenetic tree display and annotation // *Bioinformatics*. 2007. No. 23 (1). Pp. 127–128. DOI: 10.1093/nar/gkab301.
18. Кушникова Л. Б., Ануарбеков С. М., Евсеева А. А. Лимитирующие факторы при садковом выращивании рыбы в горных водоемах Восточного Казахстана // *Вестник НГАУ*. 2018. № 1 (46). С. 127–135.
19. Морозова М. А., Дьяченко М. А., Абросимова Н. А., Чемисова О. С., Степанова Ю. В., Пархоменко Ю. О. Микрофлора паренхиматозных органов у молоди карповых рыб в товарных рыбоводных хозяйствах // *Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Владивосток, 2018*. С. 80–85.
20. Bisht A., Singh U. P., Pandey N. N. Comparative study of seasonal variation in bacterial flora concomitant with farm raised fingerlings of *Cyprinus carpio* at tarai region of Uttarakhand // *Journal of Environmental Biology*. 2014. No. 35 (2). Pp. 363–367.
21. Gomez J. A., Primm T. P. A Slimy Business: the Future of Fish Skin Microbiome Studies // *Microbial Ecology*. 2021. No. 82. Pp. 275–287. DOI: 10.1007/s00248-020-01648-w.
22. Tyagi A., Singh B., Billekallu Thammegowda N. K., Singh N. K. Shotgun metagenomics offers novel insights into taxonomic compositions, metabolic pathways and antibiotic resistance genes in fish gut microbiome // *Archives of microbiology*. 2019. No. 201 (3). Pp. 295–303. DOI: 10.1007/s00203-018-1615-y.
23. Gao Y. M., Zou K. S., Zhou L., Huang X. D., Li Y. Y., Gao X. Y., Chen X., Zhang X. Y. Deep insights into gut microbiota in four carnivorous coral reef fishes from the South China Sea // *Microorganisms*. 2020. No. 8 (3). Article number 426. DOI: 10.3390/microorganisms8030426.
24. Rangel F., Enes P., Gasco L., Gai F., Hausmann B., Berry D., Oliva-Teles A., Serra C. R., Pereira F. C. Differential Modulation of the European Sea Bass Gut Microbiota by Distinct Insect Meals // *Frontiers in microbiology*. 2022. No. 13. Article number 831034. DOI: 10.3389/fmicb.2022.831034.
25. Wu F., Chen B., Liu S., Xia X., Gao L., Zhang X., Pan Q. Effects of woody forages on biodiversity and bioactivity of aerobic culturable gut bacteria of tilapia (*Oreochromis niloticus*) // *PLoS ONE*. 2020. No. 15 (7). Article number e0235560. DOI: 10.1371/journal.pone.0235560.
26. Abd El-Rhman A. M., Khattab Y. A., Shalaby A. M. *Micrococcus luteus* and *Pseudomonas* species as probiotics for promoting the growth performance and health of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* // *Fish and Shellfish Immunology*. 2009. No. 27 (2). Pp. 175–180. DOI: 10.1016/j.fsi.2009.03.020.
27. Sharifuzzaman S. M., Rahman H., Austin D. A., Austin B. Properties of probiotics *Kocuria* SM1 and *Rhodococcus* SM2 isolated from fish guts // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2018. No. 10 (3). Pp. 534–542. DOI: 10.1007/s12602-017-9290-x.
28. Poteshkina V. A., Uskova I. V. Enzymatic potential of the indigenous microbiota of the intestine of rainbow trout *Parasalmo mykiss* (= *Oncorhynchus*) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. No. 539 (1). Article number 012200. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012200.
29. Kononova S. V., Zinchenko D. V., Muranova T. A., Belova N. A., Miroshnikov A. I. Intestinal microbiota of salmonids and its changes upon introduction of soy proteins to fish feed // *Aquaculture International*. 2019. No. 27 (2). Pp. 475–496. DOI: 10.1007/s10499-019-00341-1.
30. Terova G., Gini E., Gasco L., Moroni F., Antonini M., Rimoldi S. Effects of full replacement of dietary fishmeal with insect meal from *Tenebrio molitor* on rainbow trout gut and skin microbiota // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021. No. 12 (30). DOI: 10.1186/s40104-021-00551-9.
31. Evdokimov E. G., Zaitseva Yu. V., Flerova E. A., Dokolin D. A., Zlobin I. V. Influence of conditions of the aquatic environment on the immuno-physiological status of the organism and the microbiome of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in cage farming // *Veterinaria i kormlenie*. 2022. No. 6. Pp. 28–32.
32. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish // *Frontiers in Immunology*. 2021. No. 12. Article number 653025. DOI: 10.3390/microorganisms8030426.
33. Lazado C. C., Caipang C. M., Rajan B., Brinchmann M. F., Kiron V. Characterization of GP21 and GP12: Two Potential Probiotic Bacteria Isolated from the Gastrointestinal Tract of Atlantic Cod // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2010. No. 2 (2). Pp. 126–34. DOI: 10.1007/s12602-010-9041-8.
34. Wanka K. M., Damerou T., Costas B., Krueger A., Schulz C., Wuertz S. Isolation and characterization of native probiotics for fish farming // *BMC Microbiology*. 2018. No. 18 (1). Pp. 1–13. DOI: 10.1186/s12866-018-1260-2.

Об авторах:

Юлия Владимировна Зайцева¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эколобиомониторинга и контроля качества, доцент кафедры микробиологии и ботаники, ORCID 0000-0001-9522-010X, AuthorID 226090; +7 980 703-53-01, zjv9@mail.ru

Дмитрий Андреевич Доколин¹, стажер-исследователь лаборатории биотехнологии и прикладной биоэкологической микробиологии, ORCID 0000-0003-3064-5945, AuthorID 1167275; +7 960 530-27-62, dimondokolin@yandex.ru

Илья Васильевич Злобин¹, младший научный сотрудник лаборатории эколобиомониторинга и контроля качества, ORCID 0000-0001-7348-222, AuthorID 1167612; +7 910 810-40-45, ily.zlobin21@yandex.ru

¹ Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова, Ярославль, Россия

Intestinal microbiocenosis of rainbow trout in the conditions of a cage farm

Yu. V. Zaytseva¹✉, D. A. Dokolin¹, I. V. Zlobin¹

¹ P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

✉ E-mail: zjv9@mail.ru

Abstract. The rapid growth of the aquaculture industry using modern intensive farming methods has led to a number of problems related to water quality and the spread of infectious diseases in fish. The intestinal physiological microbiota of fish and the surrounding aquatic environment forming an ecosystem, the balance of which is a key factor in maintaining the health of aquaculture. However, optimizing the microbiota is still a challenging task due to a lack of studies about the dominant microorganisms in aquacultures and the influence of environmental factors on it. **The aim** of this work was to study the structure and taxonomic composition of the cultivatable bacterial gut community of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* under the conditions of the “Yaroslavskaya Trout” cage farm. **Methods.** To identify the isolated strains and characterize the composition of common bacterial communities were used phenotypic and biochemical characteristics, as well as amplification and sequencing of 16S rRNA gene fragments and subsequent phylogenetic analysis. **Scientific novelty.** Data on the taxonomic diversity of the cultivated rainbow trout gut microbiome have been obtained. A comparative analysis of fish intestinal microbiocenoses and the surrounding aquatic environment was carried out. **Results and practical significance.** Gamma-proteobacteria was the most abundant bacteria in the structure of the studied microbial communities. Bacteria of the genera *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, and *Aeromonas* were found in the microbiome of both the rainbow trout intestines and the surrounding aquatic environment, which are opportunistic pathogens and can lead to an outbreak of bacterial infections under stressful conditions. However, studies have shown that the surrounding aquatic microbiome does not always reflect the microbiome of aquatic organisms. A comparative analysis of the freshwater microbiomes and the gut microbiome of rainbow trout revealed the ability of the host organism to concentrate beneficial probiotic microorganisms even under conditions of pathogenic pressure. The resulting collection of microorganisms can be further used for screening potential probiotic cultures.

Keywords: aquaculture *Oncorhynchus mykiss*, rainbow trout, microbiome, intestines, probiotics.

For citation: Zaytseva Yu. V., Dokolin D. A., Zlobin I. V. Mikrobiotsenoz kischechnika raduzhnoy foreli v usloviyakh sadkovogo khozyaystva [Intestinal microbiocenosis of rainbow trout in the conditions of a cage farm] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 42–53. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-42-53. (In Russian.)

Date of paper submission: 30.09.2022, **date of review:** 19.10.22, **date of acceptance:** 28.10.22.

References

1. Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. Organicheskaya akvakul'tura kak perspektivnoe napravlenie razvitiya rybnokhozyaystvennoy otrasli (obzor) [Organic aquaculture as a promising direction for the development of the fisheries industry (review)] // Agricultural biology. 2018. No. 53 (2). Pp. 326–336. (In Russian.)
2. Tyshchenko V. I., Terletskiy V. P. *Oncorhynchus mykiss* v akvakul'ture: biotekhnologicheskie i geneticheskie osnovy razvedeniya i selektsii [*Oncorhynchus mykiss* in aquaculture: biotechnological and genetic foundations of breeding and breeding] // International Research Journal. 2021. No. 7 (109). Pp. 141–144. (In Russian.)

3. Ziarati M., Zorriehzahra M. J., Hassantabar F., Mehrabi Z., Dhawan M., Sharun K., Emran T. B., Dhama K., Chaicumpa W., Shamsi S. Zoonotic diseases of fish and their prevention and control // *Veterinary Quarterly*. 2022. Vol. 42. Iss. 1. Pp. 95–118. DOI: 10.1080/01652176.2022.2080298.
4. Avdeeva E. V. Uslovno-patogennyye bakterii ryb v estestvennykh i iskusstvennykh vodoemakh Kaliningradskoy oblasti [Conditionally pathogenic fish bacteria in natural and artificial reservoirs of the Kaliningrad region] // *Trudy VNIRO*. 2017. No. 167. Pp. 104–109. (In Russian.)
5. Perry W. B., Lindsay E., Payne C. J., Brodie C., Kazlauskaitė R. The role of the gut microbiome in sustainable teleost aquaculture // *Proceedings of the Royal Society B*. 2020. No. 287 (1926). Article number 20200184. DOI: 10.1098/rspb.2020.0184.
6. Santos L., Ramos F. Antimicrobial resistance in aquaculture: current knowledge and alternatives to tackle the problem // *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2018. No. 52 (2). Pp. 135–143. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2018.03.010.
7. Pérez-Pascual D., Vendrell-Fernández S., Audrain B., Bernal-Bayard J., Patiño-Navarrete R., Petit V., Rigaud-eau D., Ghigo J. M. Gnotobiotic rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) model reveals endogenous bacteria that protect against *Flavobacterium columnare* infection // *PLoS pathogens*. 2021. No. 17 (1). Article number e1009302. DOI: 10.1371/journal.ppat.1009302.
8. Ikeda-Ohtsubo W., Brugman S., Warden C. H., Rebel J. M. J., Folkerts G., Pieterse C. M. J. How can we define “optimal microbiota”? A comparative review of structure and functions of microbiota of animals, fish, and plants in agriculture // *Frontiers in nutrition*. 2018. No. 5 (90). DOI: 10.3389/fnut.2018.00090.
9. Vasemägi A., Visse M., Kisand V. Effect of environmental factors and an emerging parasitic disease on gut microbiome of wild salmonid fish // *MSphere*. 2017. No. 2 (6). Article number e00418-17. DOI: 10.1128/mSphere.00418-17.
10. Xiong J. B., Nie L., Chen J. Current understanding on the roles of gut microbiota in fish disease and immunity // *Zoological research*. 2019. No. 40 (2). Pp. 70–76. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2018.069.
11. Butt R. L., Volkoff H. Gut microbiota and energy homeostasis in fish // *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*. 2019. No. 10. Pp. 6–8. DOI: 10.3389/fendo.2019.00009.
12. Pérez-Pascual D., Pérez-Cobas A. E., Rigaudeau D., Rochat T., Bernardet J. F., Skiba-Cassy S., Marchand Y., Duchaud E., Ghigo J. M. Sustainable plant-based diets promote rainbow trout gut microbiota richness and do not alter resistance to bacterial infection // *Animal microbiome*. 2021. No. 3 (1). Pp. 1–13. DOI: 10.1186/s42523-021-00107-2.
13. Sehnal L., Brammer-Robbins E., Wormington A. M., Blaha L., Bisesi J., Larkin I., Martyniuk C. J., Simonin M., Adamovsky O. Microbiome composition and function in aquatic vertebrates: small organisms making big impacts on aquatic animal health // *Frontiers in microbiology*. 2021. No. 12. Article number 567408. DOI: 10.3389/fmicb.2021.567408.
14. Khoult J., Krig N. *Opredelitel' bakteriy Berdzhii: v 2-kh tomakh. Tom 1 [Bergey's Manual of Determinative Bacteriology: in 2 volumes. Vol. 1] ; translate from English ; under the editorship of academician of the RAS G. A. Zavarzin. Ed. 9th. Moscow: Mir, 1997. 429 p. (In Russian.)*
15. Tamura K., Nei M. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees // *Molecular Biology and Evolution*. 1993. No. 10 (3). Pp. 512–526. DOI: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a040023.
16. Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets // *Molecular Biology and Evolution*. 2016. No. 33 (7). Pp. 1870–1874. DOI: 10.1093/molbev/msab120.
17. Letunic I., Bork P. Interactive Tree Of Life (iTOL): an online tool for phylogenetic tree display and annotation // *Bioinformatics*. 2007. No. 23 (1). Pp. 127–128. DOI: 10.1093/nar/gkab301.
18. Kushnikova L. B., Anuarbekov S. M., Evseeva A. A. Limitiruyushchie faktory pri sadkovom vyrashchivanii ryby v gornyykh vodoemakh Vostochnogo Kazakhstana [Limiting factors in the cage cultivation of fish in mountain reservoirs of East Kazakhstan] // *Vestnik NGAU*. 2018. No. 1 (46). Pp. 127–135. (In Russian.)
19. Morozova M. A., D'yachenko M. A., Abrosimova N. A., Chemisova O. S., Stepanova Yu. V., Parkhomenko Yu. O. Mikroflora parenkhimatoznykh organov u molodi karpovykh ryb v tovarnykh rybovodnykh khozyaystvakh [Microflora of parenchymal organs in juvenile carp fish in commercial fish farms] // *Kompleksnyye issledovaniya v rybokhozyaystvennoy otrasli: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Vladivostok, 2018. Pp. 80–85. (In Russian.)*
20. Bisht A., Singh U. P., Pandey N. N. Comparative study of seasonal variation in bacterial flora concomitant with farm raised fingerlings of *Cyprinus carpio* at tarai region of Uttarakhand // *Journal of Environmental Biology*. 2014. No. 35 (2). Pp. 363–367.
21. Gomez J. A., Primm T. P. A Slimy Business: the Future of Fish Skin Microbiome Studies // *Microbial Ecology*. 2021. No. 82. Pp. 275–287. DOI: 10.1007/s00248-020-01648-w.

22. Tyagi A., Singh B., Billekallu Thammegowda N. K., Singh N. K. Shotgun metagenomics offers novel insights into taxonomic compositions, metabolic pathways and antibiotic resistance genes in fish gut microbiome // Archives of microbiology. 2019. No. 201 (3). Pp. 295–303. DOI: 10.1007/s00203-018-1615-y.
23. Gao Y. M., Zou K. S., Zhou L., Huang X. D., Li Y. Y., Gao X. Y., Chen X., Zhang X. Y. Deep insights into gut microbiota in four carnivorous coral reef fishes from the South China Sea // Microorganisms. 2020. No. 8 (3). Article number 426. DOI: 10.3390/microorganisms8030426.
24. Rangel F., Enes P., Gasco L., Gai F., Hausmann B., Berry D., Oliva-Teles A., Serra C. R., Pereira F. C. Differential Modulation of the European Sea Bass Gut Microbiota by Distinct Insect Meals // Frontiers in microbiology. 2022. No. 13. Article number 831034. DOI: 10.3389/fmicb.2022.831034.
25. Wu F., Chen B., Liu S., Xia X., Gao L., Zhang X., Pan Q. Effects of woody forages on biodiversity and bioactivity of aerobic culturable gut bacteria of tilapia (*Oreochromis niloticus*) // PLoS ONE. 2020. No. 15 (7). Article number e0235560. DOI: 10.1371/journal.pone.0235560.
26. Abd El-Rhman A. M., Khattab Y. A., Shalaby A. M. *Micrococcus luteus* and *Pseudomonas* species as probiotics for promoting the growth performance and health of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* // Fish and Shellfish Immunology. 2009. No. 27 (2). Pp. 175–180. DOI: 10.1016/j.fsi.2009.03.020.
27. Sharifuzzaman S. M., Rahman H., Austin D. A., Austin B. Properties of probiotics *Kocuria* SM1 and *Rhodococcus* SM2 isolated from fish guts // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2018. No. 10 (3). Pp. 534–542. DOI: 10.1007/s12602-017-9290-x.
28. Poteshkina V. A., Uskova I. V. Enzymatic potential of the indigenous microbiota of the intestine of rainbow trout *Parasalmo mykiss* (= *Oncorhynchus*) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. No. 539 (1). Article number 012200. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012200.
29. Kononova S. V., Zinchenko D. V., Muranova T. A., Belova N. A., Miroshnikov A. I. Intestinal microbiota of salmonids and its changes upon introduction of soy proteins to fish feed // Aquaculture International. 2019. No. 27 (2). Pp. 475–496. DOI: 10.1007/s10499-019-00341-1.
30. Terova G., Gini E., Gasco L., Moroni F., Antonini M., Rimoldi S. Effects of full replacement of dietary fishmeal with insect meal from *Tenebrio molitor* on rainbow trout gut and skin microbiota // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2021. No. 12 (30). DOI: 10.1186/s40104-021-00551-9.
31. Evdokimov E. G., Zaitseva Yu. V., Flerova E. A., Dokolin D. A., Zlobin I. V. Influence of conditions of the aquatic environment on the immuno-physiological status of the organism and the microbiome of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in cage farming // Veterinaria i kormlenie. 2022. No 6. Pp. 28–32.
32. Simón R., Docando F., Nuñez-Ortiz N., Tafalla C., Díaz-Rosales P. Mechanisms used by probiotics to confer pathogen resistance to teleost fish // Frontiers in Immunology. 2021. No. 12. Article number 653025. DOI: 10.3390/microorganisms8030426.
33. Lazado C. C., Caipang C. M., Rajan B., Brinchmann M. F., Kiron V. Characterization of GP21 and GP12: Two Potential Probiotic Bacteria Isolated from the Gastrointestinal Tract of Atlantic Cod // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2010. No. 2 (2). Pp. 126–34. DOI: 10.1007/s12602-010-9041-8.
34. Wanka K. M., Damerau T., Costas B., Krueger A., Schulz C., Wuertz S. Isolation and characterization of native probiotics for fish farming // BMC Microbiology. 2018. No. 18 (1). Pp. 1–13. DOI: 10.1186/s12866-018-1260-2.

Authors' information:

Yuliya V. Zaytseva¹, candidate of biological sciences, senior researcher of the ecobiomonitring and quality control laboratory, associate professor of the department of microbiology and botany, ORCID 0000-0001-9522-010X, AuthorID 226090; +7 980 703-53-01, zjv9@mail.ru

Dmitriy A. Dokolin¹, research assistant of the laboratory of biotechnology and applied bioelementology, ORCID 0000-0003-3064-5945, AuthorID 1167275; +7 960 530-27-62, dimondokolin@yandex.ru

Ilya V. Zlobin¹, junior researcher of the laboratory of ecobiomonitring and quality control, ORCID 0000-0001-7348-222, AuthorID 1167612; +7 910 810-40-45, ily.zlobin21@yandex.ru

¹ P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

Assessment of the resistance of alimentary-related risk factors to the effects of chemical disinfectants

Yu. O. Lyashchuk¹✉, A. Yu. Ovchinnikov¹, K. A. Ivanishchev², A. V. Shchur³

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

² Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia

³ Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

✉ E-mail: ularzn@mail.ru

Abstract. Currently, much attention is paid to the monitoring of new biopathogens, which are formed as a result of targeted genetic manipulations resulting from human activity, and natural variability. The sensitivity of mutated organisms to various disinfectants can differ significantly from the sensitivity of the original varieties. Thus, the assessment of alimentary-caused biological risk factors in terms of resistance to the effects of chemical disinfectants is an important area of scientific research. **The aim** of the work is to assess the nutritionally determined biological risk factors in terms of resistance to the effects of chemical disinfectants. **The research methods** were general scientific methods of cognition, as well as the analysis of alimentary-caused biological risk factors in terms of resistance to chemical disinfectants, which was carried out by us, based on the standardized methodology for the epidemiological assessment of Dubyansky-Maletskaia. The analysis covered a three-year period from 2019 to 2021, and was carried out by us on the materials of the Ryazan region provided by the Center for Hygiene and Epidemiology of the Ryazan Region and the Main Directorate of Veterinary Medicine of the Ryazan Region. **The scientific novelty** of the study lies in identifying the features of the manifestation of the sensitivity of alimentary-conditioned biological risk factors to various groups of chemical disinfectants. **Results.** Our study allowed us to draw the following conclusions: the resistance of alimentary-caused biological risk factors to chemical disinfectants is largely due to their etiological characteristics; among the group of pathogens with very low resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of bacterial etiology; among the group of pathogens with medium resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of viral etiology; among the group of pathogens with high resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of helminthic etiology; a group of pathogens with a very high resistance to chemical disinfectants mainly consists of risk factors of helminthic etiology and spore-forming anaerobic bacteria.

Keywords: biopathogens; anthroponoses; zoonthroponoses; food quality and safety; chemical disinfection.

For citation: Lyashchuk Yu. O., Ivanishchev K. A., Shchur A. V. Assessment of alimentary-caused biological risk factors according to the parameters of resistance to the effects of chemical disinfectants // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 54–61. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-54-61.

Date of paper submission: 27.09.2022, **date of review:** 13.10.2022, **date of acceptance:** 28.10.2022.

Introduction

In recent years, the food safety of the population has been of increasing interest to the State System of Biological Safety of the Russian Federation.

This process can be described by qualitative and quantitative indicators of food security. Quantitative indicators include assortment diversity and economic availability of food products, while qualitative indicators include the quality and safety of food products.

The above indicators are closely intertwined, since in order to maintain the health of the nation, it is necessary to support the satisfaction of the needs of the population in a diverse, complete, high-quality and safe diet.

Diet-related biological risk factors play a key role in the spread of foodborne diseases in humans and animals.

Providing the population with safe and healthy food is a vital component of a country's food security. At present, throughout the world, chronic dietary deficiencies of a number of micronutrients (such as vitamin A, iron, iodine and zinc, B vitamins) can contribute to the development of the phenomenon of "hidden hunger", in which the consequences of a micronutrient deficiency may not be immediately visible. This type of micronutrient deficiency is one of the leading risk factors for human health worldwide and adversely affects metabolism, the immune system, cognitive development

and maturation, especially in children. It is also worth noting that a healthy diet rich in micro- and macro-nutrients contributes to longevity and an increase in life expectancy, and is an important component of not only physical but also mental health of a person, positively affecting performance and mood.

Another important component is food safety. In particular, the issues of disinfection and maintaining a high sanitary and hygienic level at processing plants and public catering enterprises are acute. In recent years, the issue of mutational changes among well-known opportunistic microorganisms, and, as a result, the emergence of strains with increased resistance to physical and chemical disinfectants has become quite acute [1].

Scientists' opinions regarding the reasons for this trend are represented by two major areas of research on mutagenic factors, which include physical factors (various types of radiation), chemical factors (arbitrary use of antimicrobials and chemical disinfectants) and biological factors (mutations resulting from interaction with various genetic material, including the purposeful creation of GMOs).

A number of authors [14–16] point to the relationship between the increase in the level of the above diseases and the increase in the level of electromagnetic pollution, including the background of microwave radiation (SHF). The human body does not have a sufficiently developed sensory apparatus for recognizing electromagnetic radiation (EMR) of non-thermal intensity, and therefore people practically do not feel the negative impact on their body directly during its implementation.

Often, the consequences can be observed only after a significant period of time, while the picture of electromagnetic disorders will be non-specific in terms of a set of clinical signs and almost differentially undiagnosable from diseases of a different etiology with similar manifestations [6; 8; 12].

Also quite common is the theory of «chemical mutations» [8–10; 12; 17], which is confirmed in studies of the emergence of antibiotic-resistant strains of microorganisms, as well as the formation of L-forms of bacteria, which lead to long-term carriage and chronic forms. latent infections. As a result, human health is slowly and barely noticeably destroyed as a result of exposure to infectious agents, which ultimately can lead to death with a sharp weakening of immunity or severe stress. At the same time, the official cause of death in many cases will be diagnostically recognized as a somatic rather than an infectious disease [13].

According to official medical statistics [8; 12; 17], the root cause of 1/3 of cardiovascular diseases and 1/5 of oncological diseases are infectious and parasitic biological risk factors (including alimentary-related ones). Thus, food safety is becoming more and more of a global public health issue as people suffer from

a multitude of foodborne illnesses. Many foodborne pathogens are given the opportunity to spread due to lifestyle factors, political, economic and environmental changes [18].

In industrialized countries, approximately one in three people annually suffer from mild forms of food poisoning, which can be regarded as a digestive disorder [6; 8; 12; 18].

The globalization of food markets has made the task of managing microbiological risks more difficult. Latest technologies such as genetic engineering, food irradiation, ohmic heating and modified packaging can be used to increase agricultural production, increase shelf life or improve food safety [3; 7; 12].

The manifestation of nutritional risk factors can occur at any stage of the production-consumption process, therefore, proper control is necessary throughout the entire chain of production, supply and sale of food products, and chemical disinfectants play an important role in maintaining the proper sanitary and hygienic level of the above process [1; 12; 14].

Maintaining an appropriate sanitary and hygienic level of the production-consumption process has its own characteristics associated with important changes in modern food supply and production systems, which include: increasing the complexity of networks and the dynamics of food supply chains, the intensification of classical agriculture, the emergence of alternative production niches and “green markets” of organic production, globalization world processes, accelerating the pace of life [6; 8].

These processes predetermine the secular trend to reduce the toxicity of disinfectants, on the one hand, and reduce the exposure time, on the other.

The role of chemical disinfection in food production is difficult to underestimate, and therefore regular monitoring and analysis of data on the resistance of pathogens of infectious and parasitic diseases to various groups of disinfectants is necessary.

Thus, the issues of assessing alimentary-caused biological risk factors in terms of resistance to the effects of chemical disinfectants is an important area of scientific research.

The purpose of the study was to assess nutritionally determined biological risk factors in terms of resistance to the effects of chemical disinfectants.

Research objectives:

- to conduct a qualitative and quantitative assessment of the resistance of alimentary-conditioned biological factors to chemical disinfectants.
- identify groups of resistance of pathogens to chemical disinfectants;
- identify the most dangerous biological factors-threats.

Methods

In the course of the research, we used statistical methods for analyzing and assessing the resistance of

pathogens of alimentary-related diseases to chemical disinfectants.

Statistical analysis was carried out on the materials of the Ryazan region, provided by the Center for Hygiene and Epidemiology of the Ryazan region and the Main Department of Veterinary Medicine of the Ryazan region. The research period covered the data set for the period from 2019 to 2021.

The assessment of the resistance of alimentary-caused biological risk factors to chemical disinfectants was carried out by us, based on a standardized methodology [2] according to the following criteria:

- 1) the duration of the preservation of the pathogen when exposed to a disinfectant (exposure time);
- 2) the concentration of the solution;
- 3) type of disinfectant (groups: least toxic agents, agents with moderate toxicity, agents with high toxicity).

A quantitative assessment of alimentary-related biological risk factors in terms of resistance to chemical disinfectants was carried out by us for six groups of compounds, among which it is necessary to distinguish: alcohols, acids, alkalis, compounds that emit free active chlorine, aldehydes, phenols and related compounds.

Alcohols are the least toxic group of disinfectants. In our case, the sensitivity of biological risk factors to ethyl alcohol is considered.

A group of chemical disinfectants with moderate toxicity are acids and alkalis. According to the group of acids, resistance to the most commonly used inorganic acids in food production (including acetic acid) used in canning and pickling, as well as acids used for disinfection, was evaluated.

According to the group of alkalis, resistance to the most commonly used preparations containing NaOH, as well as to caustic soda, widely used in animal husbandry, was evaluated.

The group of chemical disinfectants with high toxicity is made up of aldehydes, compounds that release free active chlorine, phenols and related compounds.

According to the group of compounds that emit free active chlorine, resistance to the following compounds was evaluated: sodium hypochlorite (up to 95.2 % active chlorine), used for water disinfection, bleach (up to 26–36 % active chlorine), used for wastewater disinfection, chloramine (chloramine-B) and sulfochloran-tin (sulfochloran-tin-D) used for focal disinfection (up to 14–17 % active chlorine).

For the group of aldehydes, resistance to formaldehyde glutaraldehyde was evaluated.

For the group of phenols and related compounds, resistance to phenol, lysol and creolin was evaluated.

The evaluation was carried out according to the formula:

$$Lcr = \sum(Tex * Cs * Tds), (1)$$

where Lcr – level of risk of the pathogen persisting when exposed to chemicals (chemical resistance level);

Tex – the duration of the preservation of the pathogen when exposed to a disinfectant (exposure time);

Cs – concentration of the solution,

Tds – type of disinfectant.

The level of chemical resistance is characterized by the following scale:

from 0 to 1 point – very low level;

from 1 to 3 points – low level;

from 3 to 6 points – medium level;

from 6 to 10 points – high level;

above 10 points – very high level.

Results

Quantitative assessment of alimentary-caused biological risk factors in terms of resistance to chemical disinfectants is presented in Table 1 and in Figures 1–4.

Analysis of Table 1 shows that among the presented biological risk factors, 36.11 % have very low resistance to chemical attack, 16.67 % – medium resistance, 19.44 % – high resistance, 27.78 % – very high resistance.

An analysis of the data presented in Figure 1 shows that among the group of pathogens with very low resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of bacterial etiology.

Analysis of the data presented in Figure 2 shows that among the group of pathogens with medium resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of viral etiology: hepatitis A virus, FMD virus (FMD virus) and rotaviruses.

Staphylococcus aureus is also of great sanitary and epidemiological importance, especially its antibiotic-resistant strains (including methicillin-resistant Staphylococcus aureus), pathogens of strongyloidiasis (Strongyloides stercoralis) and amoebic dysentery (Entamoeba histolytica), which have a borderline high level of resistance.

Analysis of the data presented in Figure 3 shows that among the group of pathogens with high resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors for helminthic etiology, with the exception of the Norwalk virus, which can survive in chlorinated tap water and cause norovirus infection, as well as the protozoan Cryptosporidium parvum, which produces extremely resistant, thick-walled, sporulated oocysts and causes cryptosporidiosis.

The group of pathogens with very high resistance to chemical disinfectants mainly consists of risk factors of helminthic etiology and spore-forming anaerobic bacteria.

This state of affairs is due to the high resistance of spores, cysts and eggs of parasites to adverse environmental conditions, as well as chemical and physical influences.

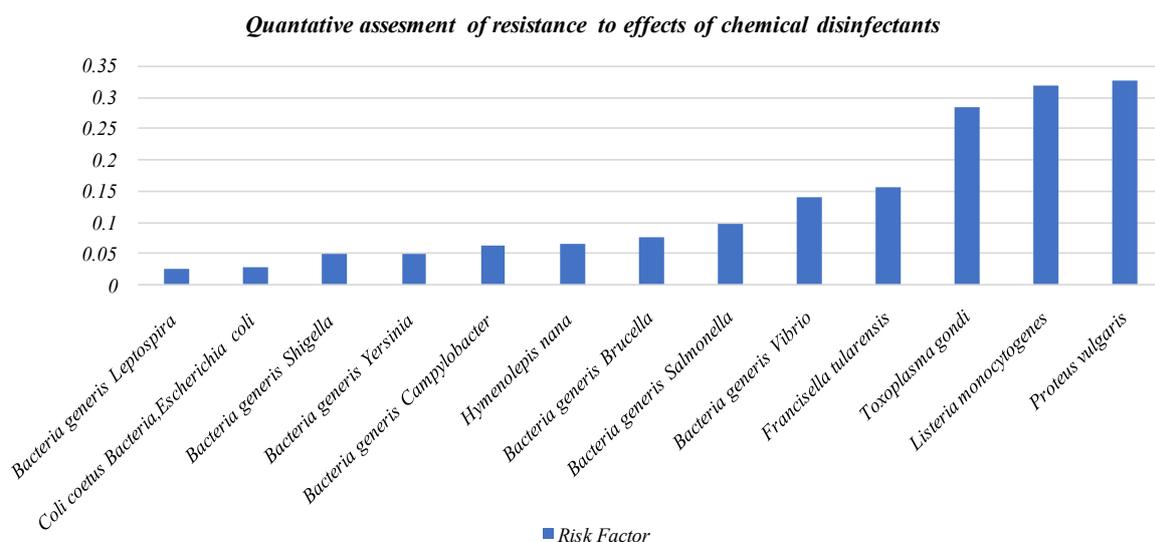


Fig. 1. Alimentary-mediated biological risk factors with very low resistance to chemical disinfectants

Discussion and Conclusion

Diseases caused by foodborne pathogens are a worldwide public health problem. Ensuring food safety to protect public health remains a major challenge for both developing and developed countries.

Effective food safety systems are vital to maintaining consumer confidence in the food system and providing a strong regulatory framework for domestic and international food trade, which contributes to economic development.

We would like to note that food safety is an important international issue, since food contamination creates a huge economic burden on society.

Governments around the world are stepping up their efforts to improve food safety so that no consumer will contract any infection or disease after eating food. Even in developing countries with low living standards, governments are forced to pursue a policy of “rapid change” in the social situation of their citizens, as the increasing level and importance of urbanization lead to the need to provide access to purified drinking water and facilities for the safe production and storage of food.

Food safety programs around the world are gradually focusing on farm-to-table methodology as a successful method of reducing foodborne risks. Among various factors, foodborne infectious and parasitic diseases account for about 20 million cases each year, and the incidence is increasing.

According to various estimates [6; 9; 11; 13–15], in developing countries, foodborne diseases annually claim the lives of 2.2 million people, of which 1.9 million are children. Food should be a source of nutrition for people, not a breeding ground for potential pathogens that can cause serious and life-threatening illness.

Alimentary-caused biological risk factors are potentially dangerous on a scale covering the entire agro-industrial production, since they have a number of fea-

tures due to the specifics of living organisms, as a result of which they are the most unpredictable and difficult to manage, since when they enter the human body with food, they are able not only to survive and multiply, but also further spread from infected individuals to healthy individuals.

The globalization of food supplies creates conditions favorable for the importation into the territory of the country and the further spread of foodborne pathogens. In recent years, more and more often there are strains that are resistant not only to disinfectants, but also to antimicrobial drugs, and leading to the death of patients due to the ineffectiveness of antibiotic therapy.

The sensitivity of alimentary-related biological risk factors to chemical disinfectants is an important criterion in determining measures to reduce the risk level by disinfecting food (pickling, salting) and water (systemic chlorination at water supply facilities), chemical disinfection of equipment, livestock buildings, agricultural equipment, work surfaces and utensils in food production, as well as the skin of personnel and workers.

As the analysis of the data showed, the resistance of alimentary-caused biological risk factors to chemical disinfectants is largely due to their etiological characteristics.

Among the group of pathogens with very low resistance, the main share is occupied by risk factors of bacterial etiology, while *Listeria monocytogenes* (point level – 0.318) and *Proteus vulgaris* (0.327) have threshold values.

Listeria are able to form bacterial L-forms that can be latently present in the human body, being one of the causes of exacerbation of chronic tonsillitis, with a decrease in immune defense.

Among the group of pathogens with medium resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of viral etiology: hepatitis A virus (3.189), rotaviruses (3.689) and foot-and-mouth

disease virus (3.839), while the eggs of the roundworm *Strongyloides stercoralis* (4.150) have threshold values, causing strongyloidiasis, and cysts of *Entamoeba histolytica* (5,192), causing amoebic dysentery.

Of particular danger is the latent carriage of *Strongyloides stercoralis*, which, in a state of immunodeficiency,

can cause disseminated strongyloidiasis with a mortality rate of up to 85 %.

The carriage of *Entamoeba histolytica* can also be latent and cause the development of the clinical picture of intestinal and extraintestinal amoebiasis with a decrease in immunity. Amebiasis ranks second in the global ranking of deaths from parasitic diseases.

Table 1
Quantitative assessment of the resistance of alimentary-caused biological risk factors to the effects of chemical disinfectants

Risk factor	Alcohols	Acids	Alkalis	Compounds that release free active Cl	Phenols	Aldehydes	Chemical resistance	
							Points	Level
<i>Bacteria generis Leptospira</i>	0.020	0.0005	0.0001	0.0022	0.002	0.0018	0.027	Very low level
<i>Coli coetus Bacteria, Escherichia coli</i>	0.004	0.006	0.0048	0.003	0.008	0.0035	0.029	
<i>Bacteria generis Shigella</i>	0.008	0.009	0.0048	0.0065	0.008	0.0126	0.049	
<i>Bacteria generis Yersinia</i>	0.016	0.005	0.012	0.0065	0.004	0.007	0.051	
<i>Bacteria generis Campylobacter</i>	0.010	0.015	0.0048	0.0065	0.012	0.014	0.062	
<i>Hymenolepis nana</i>	0.004	0.060	0.0008	0.0001	0.0008	0.0008	0.067	
<i>Bacteria generis Brucella</i>	0.020	0.003	0.0048	0.0017	0.0048	0.042	0.076	
<i>Bacteria generis Salmonella</i>	0.0082	0.030	0.012	0.003	0.016	0.028	0.097	
<i>Bacteria generis Vibrio</i>	0.020	0.0005	0.012	0.0165	0.036	0.056	0.141	
<i>Francisella tularensis</i>	0.016	0.030	0.048	0.033	0.012	0.0168	0.156	
<i>Toxoplasma gondii</i>	0.060	0.015	0.048	0.026	0.051	0.084	0.284	Medium level
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.070	0.060	0.040	0.033	0.045	0.070	0.318	
<i>Proteus vulgaris</i>	0.080	0.030	0.0144	0.0225	0.096	0.084	0.327	
<i>Hepatitis (A) virus</i>	0.420	1.200	1.200	0.0513	0.108	0.210	3.189	
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.000	1.200	1.200	0.0065	0.008	0.252	3.667	
<i>Virus generis Rotavirus</i>	1.000	1.200	0.456	0.0248	0.960	0.048	3.689	
<i>FMD virus</i>	1.000	0.002	0.016	1.500	1.300	0.021	3.839	
<i>Strongyloides stercoralis</i>	1.000	1.200	0.120	1.500	0.120	0.210	4.150	
<i>Entamoeba histolytica</i>	0.020	0.060	1.200	1.960	0.972	0.980	5.192	
<i>Virus generis Norovirus</i>	1.000	1.200	1.200	0.340	1.300	1.500	6.540	
<i>Enterobius vermicularis</i>	1.996	1.200	1.200	1.500	0.008	1.500	7.404	High level
<i>Genus Helminths Trichinella</i>	1.000	1.200	1.200	1.500	1.300	1.500	7.700	
<i>Subfamily Helminths Echinococcine</i>	1.000	1.200	1.200	1.500	1.300	1.500	7.700	
<i>Genus Helminths Opisthorchis</i>	1.000	1.200	1.200	1.500	1.300	1.500	7.700	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	1.000	1.200	1.200	1.960	1.536	0.980	7.876	
<i>Genus Helminths Diphyllbothrium</i>	1.000	0.370	1.200	1.500	1.300	4.320	9.690	
<i>M. tuberculosis, M. bovis, M. avium</i>	1.000	1.200	1.395	0.810	5.800	0.576	10.781	
<i>Bacillus cereus</i>	1.000	2.700	1.200	4.810	1.300	0.210	11.220	
<i>Lambliia (Giardia) intestinalis</i>	0.070	0.060	1.200	9.760	0.096	1.500	12.686	
<i>Genus Helminths Fasciola</i>	1.000	0.060	1.200	0.0001	0.072	10.500	12.832	
<i>Trichocephalus trichiuris</i>	0.0095	3.168	1.200	0.660	2.700	20.160	27.898	Very high level
<i>Ascaris lumbricoides</i>	1.000	11.250	1.600	16.500	5.805	1.500	37.655	
<i>Taenia solium</i>	1.000	1.200	1.200	1.500	17.400	20.160	42.460	
<i>Clostridium perfringens</i>	1.000	1.200	1.200	1.500	2.880	40.600	48.380	
<i>Taeniarrhynchus saginatus</i>	1.000	8.640	1.200	3.300	17.400	20.160	51.700	
<i>Clostridium botulinum</i>	2.900	0.600	1.200	1.500	5.760	40.600	52.560	

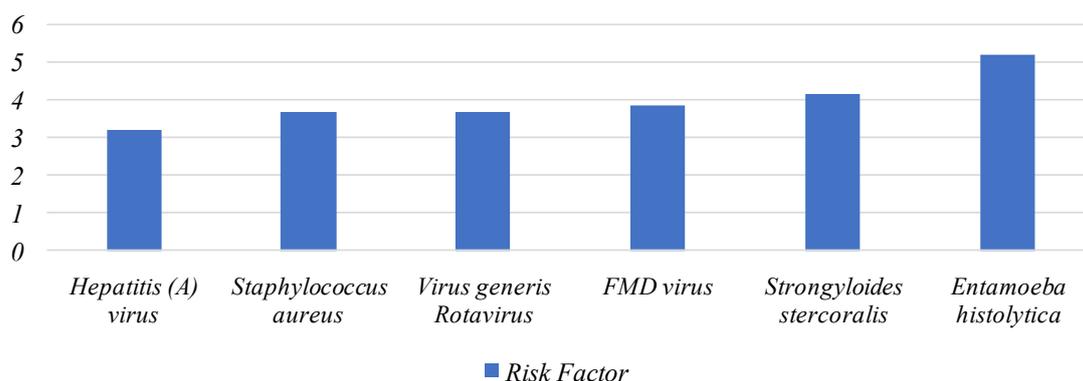
Quantitative assesment of resistance to effects of chemical disinfectants

Fig. 2. Alimentary-mediated biological risk factors with medium resistance to chemical disinfectants

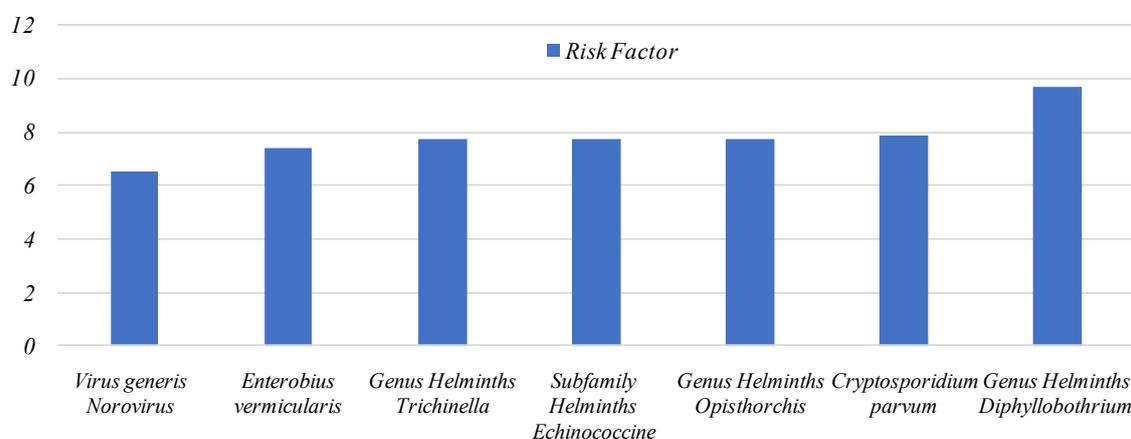
Quantitative assesment of resistance to effects of chemical disinfectants

Fig. 3. Alimentary-mediated biological risk factors with high resistance to chemical disinfectants

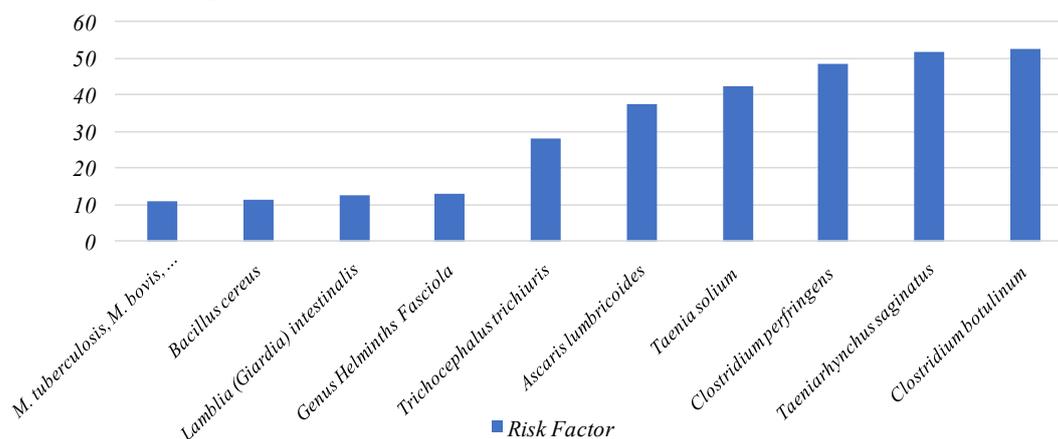
Quantitative assesment of resistance to effects of chemical disinfectants

Fig. 4. Alimentary-mediated biological risk factors with very high resistance to chemical disinfectants

Among the group of pathogens with high resistance to chemical disinfectants, the main share is occupied by risk factors of helminthic etiology, with the exception of the Norwalk virus (6.540), which can survive in chlorinated tap water and cause a norovirus infection with a probability of death, as well as the protozoan *Cryptosporidium parvum* (7.876), which forms ex-

remely resistant thick-walled sporulated oocysts and causes cryptosporidiosis (often fatal in people with immunodeficiency).

The group of pathogens with very high resistance to chemical disinfectants mainly consists of risk factors of helminthic etiology and spore-forming anaerobic bacteria.

This state of affairs is due to the high resistance of spores, cysts and eggs of parasites to adverse environmental conditions, as well as chemical and physical influences.

Among the risk factors of bacterial etiology, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum* and *Bacillus cereus*, which cause acute intoxication, represent the greatest threat of a rapid lethal outcome among the risk factors.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the Federal Scientific Agroengineering Center VIM represented by the Director, Academician of the Russian Academy of Sciences A. Yu. Izmailov and the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev represented by the rector A. V. Shemyakin.

References

1. Guseva T. M., Evdokimova O. V., Kanina I. V. Mikroorganizmy – biologicheskie indikatory bezopasnosti ob"ektov vneshney sredy 127 [Microorganisms – biological indicators of the safety of environmental objects] // Scientific life. 2017. No. 11. Pp. 120–127. (In Russian.)
2. Dubyanskiy V. M., Maletskaya O. V. Metodika otsenki biologicheskoy opasnosti vnutrennikh i vneshnikh ugroz v sub"ekte Rossiyskoy Federatsii [Methods for assessing the biological hazard of internal and external threats in the subject of the Russian Federation] // Problems of Particularly Dangerous Infections. 2021. No. 1 (111). Pp. 39–42. (In Russian.)
3. Evdokimova O. V., Konopleva V. I., Guseva T. M. Rasprostranenie vnebol'nichnykh oksacillinorezistentnykh *Staphylococcus aureus* sredi zdorovykh lits [Spread of community-acquired oxacillin-resistant *Staphylococcus aureus* among healthy individuals] // Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2018. Vol. 20. No. S1. P. 20. (In Russian.)
4. Lyashchuk Yu. O., Teterin V. S., Ovchinnikov A. Yu., Panferov N. S. Kolichestvennaya otsenka urovnya biologicheskogo riska dlya alimentarno-obuslovlennykh infektsiy i invaziy v Ryazanskoj oblasti [Quantitative assessment of the level of biological risk for alimentary-caused infections and invasions in the Ryazan region] // Agrarian science. 2022. No. 6. Pp. 27–32. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-360-6-27-32. (In Russian.)
5. Kostrova Yu. B., Martynushkin A. B. Problemy razvitiya rynka organicheskoy produkcii v RF [Problems of development of the market of organic products in the Russian Federation] // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. No. 1 (60). Pp. 252–255. (In Russian.)
6. Malov V. A., Maleev V. V., Pokrovskiy V. I. Botulinoterapiya i yatrogennyi botulizm: vzglyad infektionista na problemu [Botulinum therapy and iatrogenic botulism: an infectious disease specialist's view of the problem] // Infektsionnye bolezni. 2019. Vol. 17. No. 4. Pp. 55–61. DOI: 10.20953/1729-9225-2019-4-55-61. (In Russian.)
7. Tyurina D. G., Laptev G. Yu., Novikova N. I. et al. Nauchnaya revolyutsiya v mikrobiologii i ee znachenie dlya praktiki [Scientific revolution in microbiology and its significance for practice] // Agricultural Science. 2020. No. 9. Pp. 37–42. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-341-9-37-42. (In Russian.)
8. Evdokimova O. V., Biryukov V. V., Rybakov D. A., Kalinova Yu. A. Otsenka urovnya bioticheskogo i abioticheskogo zagryazneniya poverkhnostey s ispol'zovaniem printsipa absorptsii sveta s tsel'yu sanitarno-mikrobiologicheskogo kontrolya [Evaluation of the level of biotic and abiotic contamination of surfaces using the principle of light absorption for the purpose of sanitary and microbiological control] // Epidemiology and vaccine prevention. – 2022. – T. 21. – № 2. – S. 66-73. – DOI 10.31631/2073-3046-2022-21-2-66-73. (In Russian.)
9. Kostrova Yu. B., Lyashchuk Yu. O., Martynushkin A. B. Sovershenstvovanie protsedury kontrolya kachestva moloka kak faktor obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti [Improving the milk quality control procedure as a factor in ensuring food security] // Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2019. No. 1 (39). Pp. 45–49. DOI: 10.32935/2221-7312-2019-39-1-45-49 (In Russian.)
10. Lozovaya O. V., Martynushkin A. B., Stoyan M. V. Osobennosti ispol'zovaniya personal'nogo podkhoda pri upravlenii proizvodstvennym protsessom v agropromyshlennoy sfere [Features of using a personal approach in managing the production process in the agro-industrial sector] // Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika. 2021. Vol. 11. No. 8 (88). Pp. 2482–2491. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-8-2482-2491. (In Russian.)
11. Linovitskaya A. A., Saytkhanov E. O., Kontsevaya S. Yu. Osobennosti epidemiologii rasprostraneniya gel'mintoznykh invaziy sredi vzroslykh i detey na territoriyakh Moskovskoy i Ryazanskoj oblastey // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev. 2019. No. 2 (42). Pp. 140–144. (In Russian.)
12. Nikulova L. V., Saytkhanov E. O., Britan M. N. Statisticheskaya otsenka ostrykh otravleniy u zhivotnykh 2018–2020 gody [Statistical assessment of acute poisoning in animals 2018–2020] // Perspektivnye tekhnologii v sovremennom APK Rossii: traditsii i innovatsii: materialy 72-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ryazan', 20 aprelya 2021 goda. Ryazan, 2021. Pp. 121–125. (In Russian.)

13. Kheykho R. et al. Cross-relationships between schoolchildren's fruit and vegetable consumption and food choices with their mental well-being: a cross-sectional study // *BMJ Nutrition, Prevention & Health*. 2021. Vol. 4. No. 2. Pp. 447.
14. Lavalette S. et al. Cancer-specific and general indicators of nutrition and cancer risk: results of a prospective assessment of nutrition of the NutriNet-Santé group and cancer risk // *Cancer Research*. 2018. Vol. 78. No. 15. Pp. 4427–4435.
15. Arvidsson L. et al. Bidirectional associations between psychosocial well-being and dietary compliance in European children: Prospective results from the IDEFICS study // *BMC public health*. 2017. Vol. 17. No. 1. Article number 926. DOI: 10.1186/s12889-017-4920-5.
16. Longo V. D., Anderson R. M. Nutrition, longevity and disease: from molecular mechanisms to interventions // *Cell*. 2022. Vol. 185. No. 9. Pp. 1455–1470.
17. Shemyakin A., Lyashchuk Yu., Martynushkin A. et al. Analysis and assessment of the level of biological risks of activities of enterprises of the agro-industrial complex at the regional level // *E3S Web of Conferences*. Chelyabinsk, 2021. Article number 06057. DOI: 10.1051/e3sconf/202125806057.
18. Kostrova Y. B., Shibarshina O. Y., Tuarmenskiy V. V., Lyaschuk Y. O. Ensuring Regional Food Security in the Ryazan Region // *IOP conference series: materials science and engineering: International science and technology conference "FarEastSon-2019"*. Vladivostok, 2020. Article number 062022. DOI: 10.1088/1757-899X/753/6/062022.
19. Martynushkin A. B., Konkina V. S., Kostrova J. B. et al. Modern Trends and Development Problems of the Milk and Dairy Products Market in the Russian Federation // *Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy: materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference*. Kemerovo, 2020. Pp. 77–84. DOI: 10.32743/kuz.agri.2020.77-84.

Authors' information:

Yuliya O. Lyashchuk¹, candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory of digital systems and robotic technical means in dairy farming, ORCID 0000-0002-3612-1707, AuthorID 677729; +7 910 613-20-84, ularzn@mail.ru

Aleksey Yu. Ovchinnikov¹, junior researcher, laboratory of mechanization and cultivation of potatoes, department of mechanization of cultivation and harvesting of row crops, ORCID 0000-0002-2188-1527, AuthorID 1116441; aleksovchinn@gmail.com

Konstantin A. Ivanishchev², candidate of veterinary sciences, associate professor of the department of anatomy and physiology of farm animals, ORCID 0000-0003-0535-4070, AuthorID 948767; +7 953 733-54-45, ksaireks@mail.ru

Aleksandr V. Shchur³, doctor of biological sciences, associate professor, head of the department of technosphere safety and industrial design, ORCID 0000-0002-9558-7005, AuthorID 678290; shchur@yandex.by

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

² Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia

³ Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

Особенности функциональной активности липидома в ооцитах *Sus scrofa domestica* при интраовариальной витрификации

Д. А. Старикова[✉], Т. И. Кузьмина¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия

✉E-mail: live8avis@mail.ru

Аннотация. Создание криобанка репродуктивных клеток и тканей открывает возможности интенсификации внедрения инновационных клеточных репродуктивных технологий в практику животноводства, биомедицины, ветеринарию. **Цель** исследования – оценить эффекты диметилглицерола кремния (ДМГК) на морфологию гамет и липидом ооцитов свиней, подвергшихся интраовариальной витрификации (ИОВ). **Методы.** Витрификации подвергались фрагменты (15 × 20 мм) яичников, которые последовательно экспонировали в криопротекторах (КПА1 и КПА2) 25 мин. и 15 мин. Состав: КПА1: 7,5 % этиленгликоля (ЭГ), 7,5 % диметилсульфоксида (ДМСО), 65 % ФСБ с 2М бычьего сывороточного альбумина (БСА); КПА2: 2,0 % ЭГ, 20 % ДМСО, 60 % ФСБ, 1М БСА, 0,5 моль/л сахарозы. Эффективность использования ДМГК в исследуемых концентрациях на криосохранность биообъектов оценивали по морфологии гамет и показателям функциональной активности липидома (морфология, локализация и интенсивность флуоресценции липидных капель, визуализированных прижизненным красителем Nile Red) в ооцитах. **Результаты.** 0,2 % ДМГК не индуцирует апоптотические процессы в клетках гранулезы, снижает уровень голаядерных клеток. При введении 2 % ДМГК в состав криопротекторных сред снижается доля гамет с признаками морфологической дегенерации (с 31 % до 13 %, $P < 0,001$). ДМГК способствует увеличению уровня гамет с позитивными показателями функционирования липидных капель: увеличивается доля гамет с диффузной локализацией (с 58 % до 83 %, $P < 0,001$); возрастает уровень клеток с низкой интенсивностью флуоресценции комплекса Nile red / липидная капля (с 16 % до 29 %, $P < 0,05$) и доля гамет с липидными гранулами (47 % против 68 %, $P < 0,005$). **Научная новизна.** Впервые идентифицированы эффекты ДМГК на морфологию женских гамет, апоптотические процессы в хроматине клеток гранулезы и функциональную активность липидома ооцитов свиней при воздействии сверхнизких температур в условиях ИОВ. Модернизированы среды для ИОВ ооцит-кумулясных комплексов путем введения в их состав 0,2 % или 2 % ДМГК.

Ключевые слова: ооцит, свинья, липидные капли, ДНК, Nile red, витрификация.

Для цитирования: Старикова Д. А., Кузьмина Т. И. Особенности функциональной активности липидома в ооцитах *Sus scrofa domestica* при интраовариальной витрификации // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 62–72. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-62-72.

Дата поступления статьи: 02.09.2022, **дата рецензирования:** 06.10.22, **дата принятия:** 17.10.22.

Постановка проблемы (Introduction)

Сохранение генофонда высокоценных по хозяйственно полезным признакам животных, а также исчезающих пород – актуальная проблема современного животноводства, одним из вариантов решения которой является замораживание генетического материала ценных сельскохозяйственных животных [1, с. 132]. Криоконсервация женских гамет позволит значительно интенсифицировать внедрение инновационных клеточных репродуктивных технологий в практику животноводства,

биомедицину, ветеринарию. В настоящее время используются два подхода к замораживанию биообъектов (органов, тканей и клеток): медленное замораживание (криоконсервация) и быстрая заморозка (витрификация). В процессе криоконсервации при охлаждении образцов до криогенных температур молекулы воды преобразуются в кристаллы, что вызывает нарушение клеточной структуры и биологических процессов после оттаивания. Преимуществом витрификации является мгновенный переход жидкости в состояние льда с подавлением образо-

вания кристаллов, что встречается как при экстра- так и при интраовариальной витрификации женских гамет после оттаивания [2, с. 4]. В то же время при внутрифолликулярном (экстраовариальном) быстром замораживании женские гаметы защищены от инвазии криогенными микроорганизмами, поскольку окружены тканями яичников [3, с. 78]. Однако при витрификации возможны криотравмы, возникшие от фазового перехода липидов, что особенно ярко выражено у женских гамет, богатых липидными каплями, в частности, ооцитов свиньи [4, с. 79]. Для уменьшения негативного воздействия низких температур на гаметы применяются комплексные криопротекторы, минимизирующие льдообразование и ограничивающие токсическое и тератогенное действие на гаметы [5, с. 498]. Основой большинства вариантов криопротекторных сред служат антифризные вещества – проникающие или непроникающие. Наиболее часто используются проникающие через мембрану клетки диметилсульфоксид и этиленгликоль, а в качестве непроникающих криопротекторов, обволакивающих клетку, применяют трегалозу, сахарозу, а также глицерин и его производные [2, с. 3; 5, с. 498; 6, с. 2]. В качестве производных известны различные глицеролаты, обладающие ранозаживляющим, противомикробным и противовоспалительным свойствами [7, с. 92]. Одним из таких производных является $(\text{CH}_3)_2\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_2\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ – водорастворимый диметилглицеролат кремния (ДМГК), синтезированный в Институте органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН (г. Екатеринбург). ДМГК в составе средства для лечения эндометритов коров обеспечивает пролонгированное действие активных компонентов [8, с. 22], обладает транскутантным и антибактериальным эффектами (Patent RF 2255939, 2005) [9, с. 56]. Также немаловажно, что диметилглицеролат кремния не изменяет со временем свою вязкость [10, с. 2179]. Все это позволяет использовать ДМГК в качестве криопротекторного компонента для интраовариальной витрификации.

Цель настоящего исследования – оценить криопротекторные эффекты ДМГК на морфологию женских гамет, хроматин соматических клеток овариальных фолликулов и липидом ооцитов *Sus scrofa domestica*, подвергшихся интраовариальной витрификации.

Методология и методы исследования (Methods)

Постмортальные яичники свиней породы ландрас без видимых признаков патологии доставляли в лабораторию в физиологическом растворе, содержащем антибиотики стрептомицин 50 мкг/мл и пенициллин 100 МЕ/мл. Клетки гранулезы (КГ) получали аспирацией фолликулярной жидкости из антральных фолликулов диаметром 3–6 мм. Суспензию центрифугировали при 250 g 10 мин. Супернатант удаляли, клетки дважды промывали в PBS.

Культивировали КГ $((1,1\dots 1,6) \times 10^6$ кл/мл среды) 3 часа при 37 °C в контрольной среде: PBS с 5 % сыворотки крупного рогатого скота, а также в опытной среде с 0,2 % диметилглицеролата кремния. Аспираты гранулезы контрольной и опытной групп центрифугировали с PBS, затем клетки отмывали и переносили на предметное стекло. Цитоцентрифугаты окрашивали азур2-эозином по Мэю – Грюнвальду. В каждой пробе подсчитывали по 500 клеток под иммерсией, определяли частоты встречаемости голаядерных клеток и апоптотических телец. Для количественного анализа содержания ДНК равное количество ДНК загружали в 1-процентный агарозный гель, содержащий 1 мкг/мл бромистого этидия, под напряжением 80 В. Фрагменты ДНК визуализировали путем воздействия на гель УФ-излучения, а затем фотографировали. Для заморозки готовили фрагменты яичника размером 15 × 20 мм путем поперечной резекции яичника. Витрификация фрагментов яичников проводилась в соответствии с ранее разработанными в лаборатории протоколами [11, с. 66–68]. Экспозиция фрагментов проводилась в криопротекторных агентах (КПА) последовательно и составила 25 минут и 15 минут. Для заморозки контрольную группу кусочков яичника инкубировали в растворах КПА1 (7,5 % этиленгликоль (ЭГ), 7,5 % диметилсульфоксид (ДМСО), 65 % фосфатно-солевой буфер (ФСБ), с добавлением 20 % бычьего сывороточного альбумина (БСА)) и КПА2 – 15 % ЭГ, 15 % ДМСО, 59,5 % ФСБ, 10 % БСА, 0,5 % сахарозы. Для создания условий опыта 1 в КПА2 добавляли ДМГК в концентрации 0,2 %, а для опыта 2 – ДМГК в концентрации 2 %. Витрифицированные образцы хранились в жидком азоте не менее 24 часов. Фрагменты яичника контрольной и опытных групп размораживали поочередно в растворе, состоящем из ФСБ с добавлением 10 % БСА, 0,5 % сахарозы в течение 1 мин. при 38,5 °C, а затем в растворе из ФСБ с 0,25 % сахарозы 5 мин. при 38,5 °C. Перед выделением ооцит-кумулясных комплексов (ОКК) фрагменты 10 мин. экспонировали в ФСБ. Нативные ОКК и ОКК из девитрифицированных фрагментов получали путем резекции яичника. Оценку морфологии клеток кумулюса девитрифицированных ооцит-кумулясных комплексов осуществляли на микроскопе МБС-9 при увеличении 2 × 14. Для анализа липидома и ядерного материала проводили двойное окрашивание предварительно денудированных пипетированием ооцитов. Для этого ооциты помещали в 2 мл раствора Nile red (1 мкМ), инкубировали 5 мин. при комнатной температуре, затем переносили по одной клетке в каждую лунку 12-луночного стекла. Цитологическая оценка липидома ооцитов проводилась с помощью микроскопа Carl Zeiss AxioImager A2m. Диаметр липидных капель оценивали в отношении к диаметру ооцита, используя программу JMicroVi-

sion 1.2.7. Для ранжирования ооцитов фиксировали диаметр липидных капель в отношении к диаметру ооцита: липидные капли, имеющие диаметр менее 10 % от диаметра ооцита определяли как гранулы, а липидные капли, имеющие диаметр более 10 % от диаметра ооцита, – как кластеры. В экспериментах использовали реагенты производства фирмы Sigma-Aldrich, за исключением вышеобозначенных. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием критерия χ^2 Пирсона и критерия Стьюдента с помощью статистической программы Statistica 6.0 (Dell, США). Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали при трех уровнях значимости: $P < 0,05$; $P < 0,005$; $P < 0,001$.

Результаты (Results)

Как показано ранее, диметилглицеролат кремния, обладающий ранозаживляющей, транскутанной, антибактериальной способностью в концентрации 0,2 % улучшает показатели ядерного созревания девитрифицированных гамет [12, с. 54]. В выборе концентрации ДМГК для настоящего исследования мы опирались на данные, полученные

нами при изучении цитопротекторных эффектов диметилглицеролата кремния в клеточных популяциях гранулезы, аспирированных из яичников свиней. Данные по исследованию частот встречаемости «голых ядер» в образцах с добавлением ДМГК приведены в таблице 1. В мазках образцов, приготовленных из интактных клеток, был обнаружен наибольший процент «голых ядер» (более 58 %) и апоптотических телец (13 %), в то время как в образцах с добавлением 0,2 % диметилглицеролата кремния частота встречаемости «голых ядер» оказалось на порядок ниже, а апоптотические тельца после добавления наночастиц не были обнаружены.

Апоптотические процессы в нативных и обработанных ДМГК клетках гранулезы изучали с использованием ПЦР-анализа (рис. 1).

На электрофореграмме обнаружены дорожки с фрагментированными ДНК нижний фрагмент маркера – 100 п. н., нижний фрагмент контрольного образца – 180–200 п. н., что соответствует самой короткой нуклеосоме при апоптотической фрагментации ДНК. Фрагментация ДНК не была выявлена на дорожках с образцами, обработанными 0,2 % ДМГК (рис. 1). В целом представленные данные по анализу воздействия 0,2 % ДМГК на клетки гранулезы свидетельствуют о его четко выраженном цитопротекторном эффекте. С учетом пагубного воздействия сверхнизких температур на клеточные компартменты задачей исследования следующей серии экспериментов явилось выявление характера воздействия ДМГК на морфологию женских гамет и особенностей функционирования липидома в ооцитах в условиях воздействия сверхнизких температур.

Возвращаясь к вопросу проникающей способности криопротекторных агентов, следует отметить, что А. I. Villaverde et al. при криоконсервации спермы котов использовали 3 %, 5 % и 7 % глицерина [13, с. 734], а Р. Q. Zhang – от 60 % до 80 % глицерина при криоконсервации жировой ткани мышей [14, с. 2]. ДМГК в концентрации 1 % снижал долю клеток гранулезы с ядрами в состоянии

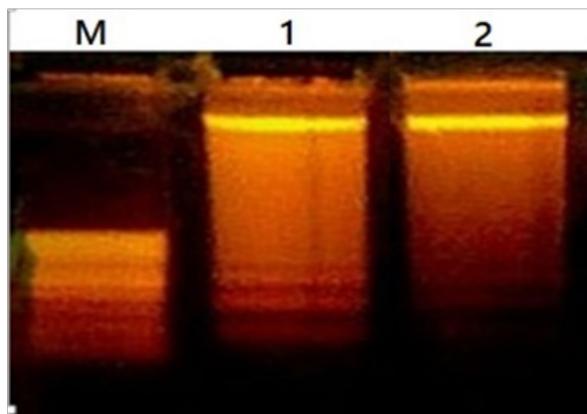


Рис. 1. ДНК-фрагментация («апоптотическая лестница») в интактных и обработанных 0,2 % ДМГК клетках гранулезы.

М – маркер, 1 – контроль, 2 – 0,2 % ДМГК

Fig. 1. DNA fragmentation (“apoptotic ladder”) in intact granulosa cells and cells treated with 0.2 % SDMG.

M – marker, 1 – control, 2 – 0.2 % SDMG

Частоты встречаемости «голых ядер» и апоптотических телец в клетках гранулезы инкубированных с ДМГК ($1,6 \times 10^6$ кл/мл – 4 повторности)

Группы эксперимента	Доля клеток с «голыми ядрами», %	Доля клеток с апоптотическими тельцами, %
Контроль	58 ± 4,93	13 ± 3,36
0,2 % ДМГК	2 ± 0,95	Не обнаружено

Таблица 1

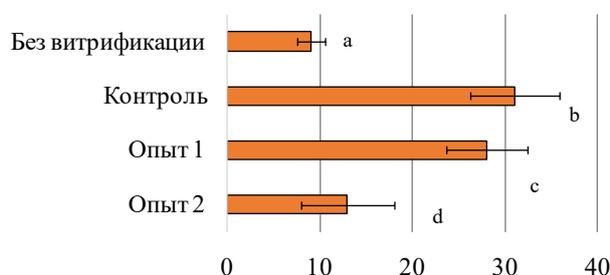
Table 1
Frequencies of naked nuclei and apoptotic bodies in porcine granulosa cells treatment with silicon dimethylglycerolate (1.6×10^6 cells/ml – 4 replicates)

Experiment groups	Level of cells with naked nuclei, %	Level of cells with apoptotic bodies, %
Control	58 ± 4.93	13 ± 3.36 %
0.2 % SDMG	2 ± 0.95	Not detected

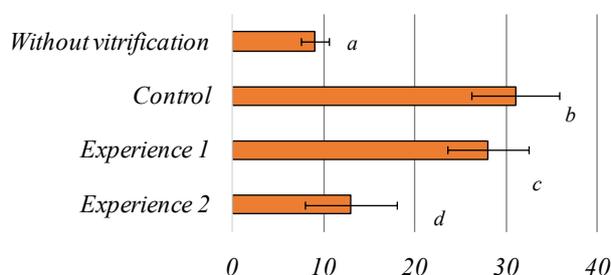
пикноза [15, с. 63]. Рекомендации изготовителей и поставщиков ДМГК (ИОС УрО РАН) и обнаруженные различия в процентном соотношении базового вещества глицерогидрогелей (глицерина) при витрификации обусловили выбор концентрации (0,2 % и 2 %). Результаты по анализу морфологии ооцитов с учетом признаков дегенерации (неправильная форма ооцита, неоднородная цитоплазма, отсутствие кумулюса, повреждение зоны пеллюцида и т. д.) после интраовариальной витрификации представлены на рис. 2.

При воздействии сверхнизких температур увеличивается доля гамет с признаками дегенерации, а именно с неправильной формой ооцита, неоднородной цитоплазмой, отсутствием кумулюса, повреждением зоны пеллюцида и т. д. После интраовариальной витрификации доля ооцитов с признаками

дегенерации в контрольной группе достоверно увеличилась на 22 % (с 9 % до 31 %, $P < 0,001$), а в первой опытной группе (концентрация ДМГК – 0,2 %) на 19 % (с 9 % до 28 %, $P < 0,001$). Следует отметить, что воздействие 2 % ДМГК на гаметы при витрификации не привело к достоверному увеличению уровня морфологически дегенерированных ооцитов (13 %) в сравнении с долей нативных гамет (9 %). При введении ДМГК в концентрации 2 % в состав криопротекторных сред уровень гамет с дегенерацией снизился на 18 % в сравнении с контролем (с 31 % до 13 %, $P < 0,001$). Также отмечено, что витрификация в опытных условиях с 2 % ДМГК (13 %) снижает уровень гамет с признаками морфологической дегенерации на 15 % в сравнении с витрификацией при 0,2 % ДМГК (28 %, $P < 0,01$).



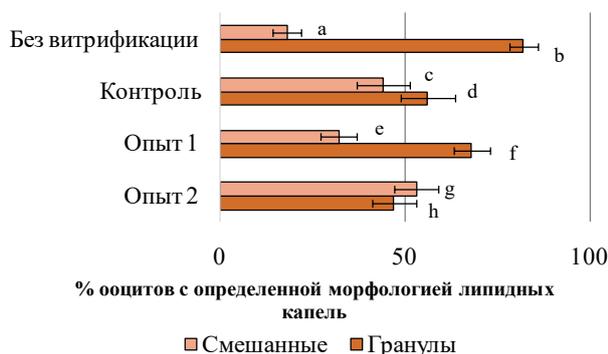
■ % ооцитов с признаками дегенерации по морфологии



■ % of oocytes with signs of degeneration by morphology

Рис. 2. Влияние ДМГК на морфологию ооцитов свиней после интраовариальной витрификации (число ооцитов – 538; 3 повторности). Контроль – КПА2: 15 % этиленгликоля, 15 % диметилсульфоксида, 59,5 % фосфатно-солевого буфера, 10 % бычьего сывороточного альбумина, 0,5 % сахарозы; опыт 1 – контроль и 0,2 % ДМГК; опыт 2 – контроль и 2 % ДМГК. Достоверность различий χ^2 -test: $a,b,a,cP < 0,001$, $c,dP < 0,01$, $b,dP < 0,005$

Fig. 2. The effect of SDMG on the morphology of porcine oocytes after intraovarian vitrification (number of oocytes – 538; 3 replicates). Control – CPA2: 15 % ethylene glycol, 15 % dimethyl sulfoxide, 59.5 % phosphate-buffered saline, 10 % bovine serum albumin, 0.5 % sucrose; experience 1 – control and 0.2 % SDMG; experience 2 – control and 2 % SDMG. Significance of differences χ^2 -test: $a,b,a,cP < 0,001$, $c,dP < 0,01$, $b,dP < 0,005$

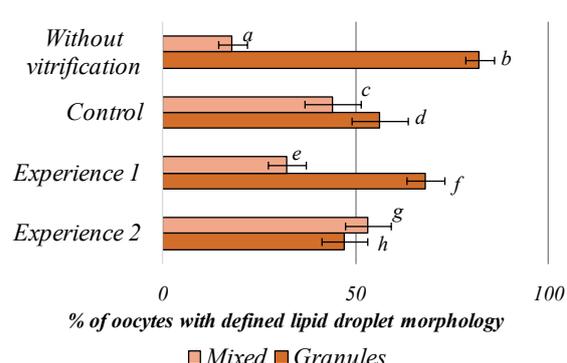


% ооцитов с определенной морфологией липидных капель

■ Смешанные ■ Гранулы

Рис. 3. Морфология липидных капель в ооцитах свиней после интраовариальной витрификации (число ооцитов – 394; 3 повторности). Контроль – КПА2: 15 % этиленгликоля, 15 % диметилсульфоксида, 59,5 % фосфатно-солевого буфера, 10 % бычьего сывороточного альбумина, 0,5 % сахарозы; опыт 1 – контроль и 0,2 % ДМГК; опыт 2 – контроль и 2 % ДМГК.

Достоверность различий χ^2 -test: $a,c,b,d,a,g,b,hP < 0,001$, $a,e,b,fP < 0,05$, $e,g,f,hP < 0,005$



% of oocytes with defined lipid droplet morphology

■ Mixed ■ Granules

Fig. 3. Morphology of lipid droplets in porcine oocytes after intraovarian vitrification (number of oocytes – 394; 3 replicates). Control – CPA2: 15 % ethylene glycol, 15 % dimethyl sulfoxide, 59.5 % phosphate-buffered saline, 10 % bovine serum albumin, 0.5 % sucrose; experience 1 – control and 0.2 % SDMG; experience 2 – control and 2 % SDMG.

Significance of differences χ^2 -test: $a,c,b,d,a,g,b,hP < 0,001$, $a,e,b,fP < 0,05$, $e,g,f,hP < 0,005$

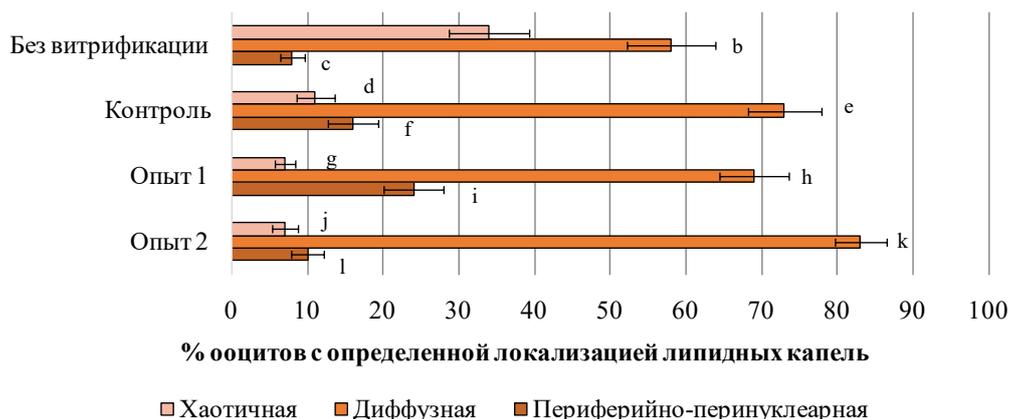


Рис. 4. Воздействие диметилглицеролат кремния на локализацию липидных капель в ооцитах свиней после интраовариальной витрификации (количество ооцитов – 422; 3 повторности). Контроль – КПА2: 15 % этиленгликоля, 15 % диметилсульфоксида, 59,5 % фосфатно-солевого буфера, 10 % бычьего сывороточного альбумина, 0,5 % сахарозы; опыт 1 – контроль и 0,2 % ДМГК; опыт 2 – контроль и 2 % ДМГК. Достоверность различий χ^2 -test: ^{ci}P < 0,005, ^{b,e, h,k}P < 0,05, ^{a,d, a,g, a;j, b;k}P < 0,001, ^{il}P < 0,01

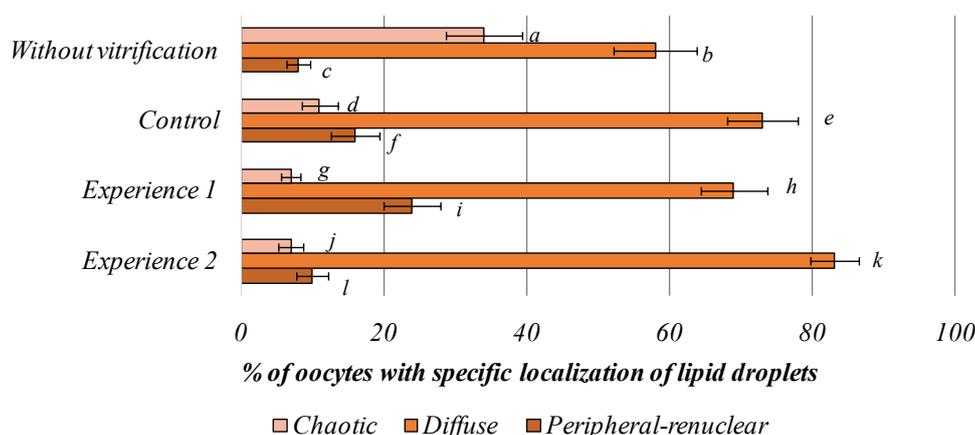


Fig. 4. The effect of silicon dimethylglycerolate on the localization of lipid droplets in porcine oocytes after intraovarian vitrification (number of oocytes – 422; 3 replicates). Control – CPA2: 15 % ethylene glycol, 15 % dimethyl sulfoxide, 59.5 % phosphate-buffered saline, 10 % bovine serum albumin, 0.5 % sucrose; experience 1 – control and 0.2 % SDMG; experience 2 – control and 2 % SDMG. Significance of differences χ^2 -test: ^{ci}P < 0.005, ^{b,e, h,k}P < 0.05, ^{a,d, a,g, a;j, b;k}P < 0.001, ^{il}P < 0.01

Оценка морфологии и локализации внутриклеточных липидных капель ооцитов свиней осуществлялась путем визуализации липидного содержимого флуоресцентным красителем Nile red. Данный краситель успешно применяется для визуализации липидных капель, локализованных в цитоплазме женской гаметы, поскольку является специфическим к триглицеридам [16, с. 1023 (B), 17, с. 3].

Ранжирование ооцитов по морфологии липидных капель производилось в соответствии с вышеуказанными характеристиками на группы:

- 1) ооциты с липидными каплями в форме гранул;
- 2) ооциты с липидными каплями в форме гранул и кластеров – смешанный тип.

Как показано ранее, липидные капли в ооцитах с положительными качественными характеристиками имеют форму мелких гранул [18, с. 132].

Воздействие сверхнизких температур провоцирует снижение доли ооцитов с липидными каплями в виде гранул и, напротив, повышение уровня гамет

со смешанными формами липидных капель (рис. 3). Так, доля нативных гамет с гранулированными липидными каплями (82 %) достоверно превышает таковую как в контрольной (56 %, $P < 0,001$), так и в опытных группах эксперимента (0,2 % ДМГК: 68 % против 82 % в контроле, $P < 0,05$), 2 % ДМГК – 47 % против 82 % в контроле, $P < 0,001$). При воздействии сверхнизких температур показано достоверное увеличение доли гамет со смешанной морфологией в контрольной группе девитрифицированных гамет (44 %, $P < 0,001$), в первой опытной группе (0,2 % ДМГК) этот показатель составил 32 %, $P < 0,05$, во второй опытной группе (2 % ДМГК) – 53 %, $P < 0,001$ в сравнении с уровнем нативных гамет со смешанной морфологией (18 %).

Доля ооцитов с гранулированными липидными каплями, витрифицированных с использованием 0,2 % ДМГК, достоверно выше доли аналогичных гамет в опытной группе 2 (концентрация ДМГК – 2 %, 68 % против 47 % соответственно, $P < 0,005$).

На рис. 4 представлены результаты по воздействию сверхнизких температур на локализацию липидных капель в ооцитах свиней. Популяцию гамет ранжировали на 3 группы – в соответствии с расположением липидных капель в ооплазме: с периферийно-перинуклеарной, с диффузной (равномерное расположение липидных капель по цитоплазме ооцита) и с хаотичной (неравномерное расположение липидных капель по цитоплазме ооцита) локализацией [18, с. 5; 19, с. 142].

После интраовариальной витрификации выявлено повышение долей гамет с периферийно-перинуклеарной локализацией ЛК в опытной группе с 0,2 % ДМГК в сравнении с группой нативных клеток (24 % против 8 % соответственно, $P < 0,005$). Также отмечен рост доли гамет с диффузной локализацией в контрольной (73 % против 58 %, $P < 0,05$) и опытной с 2 % ДМГК (83 % против 58 %, $P < 0,001$) группах в сравнении с нативными ооцитами. Напротив, влияние сверхнизких температур вызывает снижение долей ооцитов с хаотичной локализацией по сравнению с уровнем нативных клеток (34 %) как в контрольной группе – до 11 % ($P < 0,001$), так и в опытных группах – до 7 % в обеих ($P < 0,001$).

Доля ооцитов после витрификации с ДМГК в концентрации 0,2 % с периферийно-перинуклеарной локализацией липидных капель достоверно превысила долю гамет с аналогичным расположением липидных капель, витрифицированных с 2 % ДМГК (24 % против 10 % соответственно, $P < 0,01$). Показано достоверное увеличение (на 14 %) доли гамет с диффузной локализацией, полученных из фолликулов фрагментов яичников, витрифицированных в опытной группе с введением 2 % ДМГК (83 %) в сравнении с уровнем гамет, витрифицированных в опытной группе с 0,2 % ДМГК (69 %), $P < 0,05$.

На рис. 5 представлены результаты по оценке интенсивности флуоресценции комплекса Nile red / липидная капля в ооцитах, подвергшихся процедуре интраовариальной витрификации. Анализ показателей интенсивности флуоресценции комплекса Nile red / липидная капля показал, что доля ооцитов (37 %) с низкой интенсивностью свечения достоверно превысила долю гамет с аналогичной градацией в контрольной (16 %, $P < 0,005$) и в опытной (22 %, $P < 0,05$) группах гамет, витрифицированных с 2 % ДМГК. Доля нативных ооцитов с высокой интенсивностью свечения липидных капель (6 %) была достоверно ниже уровня гамет, витрифицированных в контрольных (18 %, $P < 0,01$) и опытных группах с использованием 0,2 % ДМГК (16 %, $P < 0,05$) или 2 % ДМГК (19 %, $P < 0,01$). После интраовариальной витрификации выявлено достоверное превышение доли ооцитов, витрифицированных с 0,2 % ДМГК с низкой интенсивностью свечения (29 %) над уровнем контрольных гамет (16 %), $P < 0,05$.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Известно, что одним из способов образования крупных липидных капель является слияние мембран малых липидных капель и объединение их внутреннего содержимого [20, с. 142]. При криоконсервации важным является фазовый переход внутриклеточных и мембранных липидов из жидкой неупорядоченной фазы в твердообразную упорядоченную фазу при сверхнизких температурах [4, с. 79]. Есть предположение, что между температурами начала фазового перехода липидов и кристаллизации липидов, происходящем при витрификации в предельно короткие сроки, триглицериды интрацеллюлярных липидных капель находятся в промежуточном жидкоупорядоченном состоянии [21, с. 581]. Методом рамановской микроскопии И. В. Мокроусовой и др. было показано сосуществование липидов в твердообразном упорядоченном и жидком неупорядоченном фазовом состоянии внутри одной и той же липидной капли при низких температурах в процессе криоконсервации [22, с. 180].

Таким образом, фазовый переход липидов влияет на их состояние при витрификации, что в дальнейшем до, во время и после девитрификации сказывается на морфофункциональном состоянии липидных капель, в том числе на изменении их морфологии. Подтверждением этому служат данные исследования X.-W. Fu et al, где показано увеличение количество мелких липидных капель после девитрификации ооцитов [23, с. 164].

Полученные нами данные не подтверждают результаты полученные авторами, вероятно, ввиду разных условий и объектов витрификации. Кроме того, исходя из разницы полученных результатов по оценке морфологии липидных капель в опытных группах можно предположить, что концентрация ДМГК оказывает влияние на его проникновение в цитоплазму клетки и изменение границ фазового перехода липидов. Также известно, что фазовый переход липидов влияет на локализацию липидных капель [24, с. 136].

По представленным нами данным диффузное распределение липидных капель вызвано повышением концентраций ДМГК в криопротекторах до 2 %. Логично предположить, что увеличенное количество диметилглицерола кремния в криопротекторе способствует большему проникновению его через оболочку фолликула, следствием чего является повышенное количество ДМГК в фолликулярной жидкости и цитоплазме ооцита, что может объяснить различия в результатах между опытными группами. Триглицериды – основной источник энергетических запасов клетки, который используется для формирования яйцеклетки.

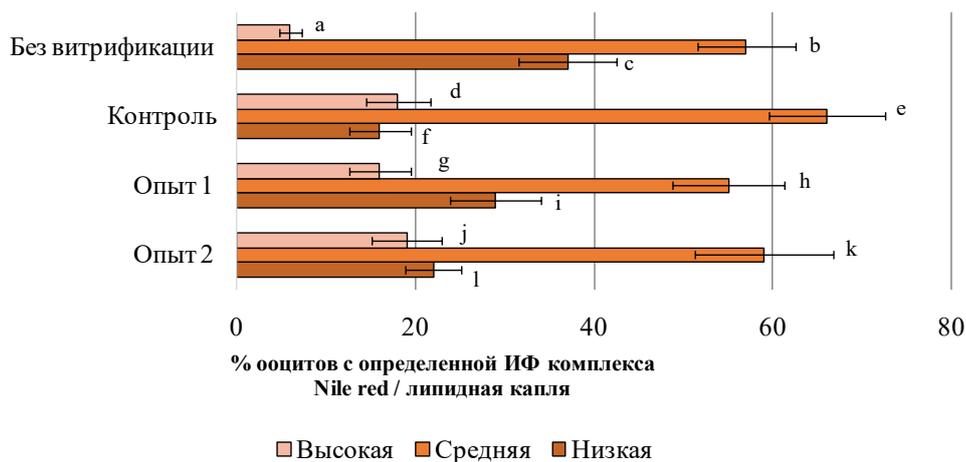


Рис. 5. Воздействие диметилглицеролат кремния на интенсивность флуоресценции (ИФ) комплекса Nile red / липидная капля в ооцитах свиней после интраовариальной витрификации (количество ооцитов – 375; 3 повторности). Контроль – КПА2: 15 % этиленгликоля, 15 % диметилсульфоксида, 59,5 % фосфатно-солевого буфера, 10 % бычьего сывороточного альбумина, 0,5 % сахарозы; опыт 1 – контроль и 0,2 % ДМГК; опыт 2 – контроль и 2 % ДМГК. Достоверность различий χ^2 -test: ^{ci}P < 0,005, ^{be, hk}P < 0,05, ^{ad, ag, aj, bk}P < 0,001, ^{il}P < 0,01

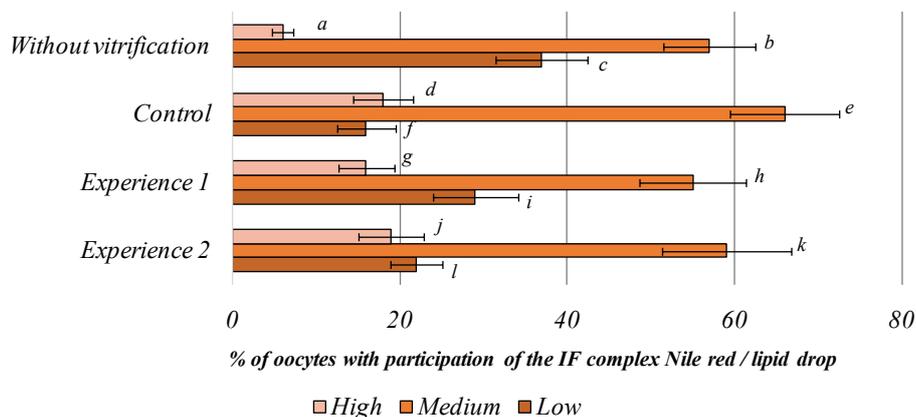


Fig. 5. The effect of silicon dimethylglycerolate on the fluorescence intensity (FI) of the Nile red / lipid drop complex in porcine oocytes after intraovarian vitrification (number of oocytes – 375; 3 replicates). Control – CPA2: 15 % ethylene glycol, 15 % dimethyl sulfoxide, 59.5 % phosphate-buffered saline, 10 % bovine serum albumin, 0.5 % sucrose; experience 1 – control and 0.2 % SDMG; experience 2 – control and 2 % SDMG. Significance of differences χ^2 -test: ^{ci}P < 0.005, ^{be, hk}P < 0.05, ^{ad, ag, aj, bk}P < 0.001, ^{il}P < 0.01

Разложением спектров Nile red показано снижение уровня триглицеридов на 17,7 % при созревании ооцита свиньи [25, с. 51]. Следовательно, чем большее участие триглицеридов в интрацитоплазматических процессах в клетке, тем ниже интенсивность окрашивания липидных капель красителем Nile red. В соответствии с полученными нами результатами по интенсивности флуоресценции комплекса Nile red / липидная капля можно предположить, что ДМГК в концентрации 0,2 % оказывает положительное влияние на внутриклеточные процессы в девитрифицированных клетках, активируя их; 2 % ДМГК не оказывает аналогичного стимулирующего эффекта, выражаемого в увеличении доли гамет с низкой интенсивностью флуоресценции комплекса, что является свидетельством дозозависимого эффекта ДМГК на степень свечения флуоресценции комплекса Nile red / липидная капля.

Касаясь технологических моментов при витрификации ооцитов, следует отметить, что температура отогрева в наших экспериментах составила 38,5 °С, однако при девитрификации, как указывают S. Amstislavsky et al., витрифицированные объекты при оттаивании требуют высоких скоростей и температур нагревания во избежание образования кристаллов льда в процессе девитрификации [4, с. 80]. В связи с этим надо учитывать, что отработка режимов оттаивания для ооцитов животных разных видов требует модификации. Проблема разработки эффективной технологии витрификации женских гамет *Sus scrofa domestica* усугубляется большим количеством в них липидного содержимого (161 мкг) в сравнении с другими видами животных [26, с. 165].

В связи с вышеизложенным комплексное исследование показателей жизнеспособности и функ-

циональной активности структурных компонентов женской гаметы *Sus Scrofa Domesticus* с акцентом на тестировании особенностей функционирования липидных капель в условиях сверхнизких температур с использованием ДМГК как возможного компонента криопротекторных сред представляет несомненный интерес. Полученные нами данные позволили выявить особенности функционирования липидома (кластеризация и транслокация ли-

пидных капель, изменение интенсивности флуоресценции Nile red / липидная капля) ооцита спровоцированные воздействием сверхнизких температур и определить характер воздействия ДМГК на обозначенные вышепоказатели.

Благодарности (Acknowledgments)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 0445-2021-0005).

Библиографический список

1. Шинкарецкая Г. Г. Генофонд животных: проблема исследования и сохранения // Образование и право. 2020. № 2. С. 128–137.
2. Bojic S., Murray A., Bentley B. L., Spindler R., Pawlik P., Cordeiro J. L., Bauer R., de Magalhães J. P. Winter is coming: the future of cryopreservation // BMC Biology. 2021. Vol. 24. No. 19 (1). DOI: 10.1186/s12915-021-00976-8.
3. Campos L. B., da Silva A. M., Praxedes E. C. G. Vitrification of collared peccary ovarian tissue using open or closed systems and different intracellular cryoprotectants // Cryobiology. 2019. No. 91. Pp. 77–83.
4. Amstislavsky S., Mokrousova V., Brusentsev E., Okotrub K., Comizzoli P. Influence of Cellular Lipids on Cryopreservation of Mammalian Oocytes and Preimplantation Embryos: A Review // Biopreservation and biobanking. 2019. Vol. 17. No. 1. Pp. 76–83. DOI: 10.1089/bio.2018.0039.
5. Asl M. M., Rahbarghazi R., Beheshti R., Alihemmati A., Aliparasti M. R., Abedelahi A. Effects of Different Vitrification Solutions and Protocol on Follicular Ultrastructure and Revascularization of Autografted Mouse Ovarian Tissue // Cell Journal. 2021. Vol. 22. No. 4. Pp. 491–501. DOI: 10.22074/cellj.2021.6877.
6. Екпо М. Д., Xie J., Hu Y., Liu X., Liu F., Xiang J., Zhao R., Wang B., Tan S. Antifreeze Proteins: Novel Applications and Navigation towards Their Clinical Application in Cryobanking // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 27. No. 23 (5). Article number 2639. DOI: 10.3390/ijms23052639.
7. Саркисян Н. Г., Ронь Г. И., Тузанкина И. А., Хонина Т. Г., Ларионов Л. П., Симбирцев А. С., Дроздова Л. И., Тимченко А. С. Морфологическая оценка эффективности использования фармакологических композиций на основе кремнийорганического глицерогидрогеля // Иммунология. 2017. Т. 38. № 2. С. 91–96.
8. Шадрина Е. В. Синтез и свойства полиолатов кремния и гидрогелей на их основе: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Екатеринбург, 2011. 26 с.
9. Barkova A. S., Shurmanova E. I., Khonina T. G., Millstein I.M. Possibilities of using functional biologically active organosilicon compounds in veterinary practice // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 11 (202). Pp. 53–58. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-202-11-53-58.
10. Хонина Т. Г., Ларченко Е. Ю., Шадрина Е. В., Ганебных И. Н., Бойко А. А., Маточкина Е. Г., Кодесс М. И., Чупахин О. Н. Состав, строение и свойства фармакологически активных диметилглицеролатов кремния // Известия Академии наук. Серия химическая. 2010. № 12. С. 2175–2180.
11. Станиславович Т. И., Кузьмина Т. И., Молчанов А. В. Влияние интраовариальной витрификации на показатели криорезистентности ооцит-кумулясных комплексов свиней // Вопросы ветеринарно-правового регулирования в ветеринарии. 2019. № 4. С. 65–70. DOI: 10.17238/issn2072-6023.2019.4.65.
12. Станиславович Т. И., Кузьмина Т. И. Модификация этапов технологии интраовариальной витрификации ооцитов *Sus Scrofa Domesticus* // Аграрный вестник Урала. 2020. № 8 (199). С. 51–57. DOI 10.32417/1997-4868-2020-199-8-51-57.
13. Villaverde A. I., Fioratti E. G., Penitenti M., Ikoma M. R., Tsunemi M. H., Papa F. O., Lopes M. D. Cryoprotective effect of different glycerol concentrations on domestic cat spermatozoa // Theriogenology. 2013. Vol. 80. No. 7. Pp. 730–737. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2013.06.010.
14. Zhang P. Q., Tan P. C., Gao Y. M., Zhang X. J., Xie Y., Zheng D. N., Zhou S. B., Li Q. F. The effect of glycerol as a cryoprotective agent in the cryopreservation of adipose tissue // Stem cell research & therapy. 2022. Vol. 13. Article number 152. DOI: 10.1186/s13287-022-02817-z.
15. Алимова А. Д., Кундик Ю. В., Станиславович Т. И., Кузьмина Т. И. Влияние диметилглицеролата кремния на жизнеспособность клеток гранулезы из овариальных фолликулов *Sus Scrofa Domesticus* // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2019. № 2. С. 61–63. DOI: 10.17238/issn2072-6023.2019.2.
16. Abazarikia A., Ariu F., Rasekhi M., Zhandi M., Ledda S. Distribution and size of lipid droplets in oocytes recovered from young lamb and adult ovine ovaries // Reproduction, Fertility and Development. 2020. Vol. 32. No. 11. Pp. 1022–1026. DOI: 10.1071/RD20035.

17. Pedroza G. H., Lanzon L. F., Rabagliano M. B., Walker W. L., Vahmani P., Denicol A. C. Exposure to non-esterified fatty acids in vitro results in changes in the ovarian and follicular environment in cattle // *Animal Reproduction Science*. 2022. Vol. 238. Article number 106937. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2022.106937.
18. Dadarwal D., Adams G.P., Hyttel P., Brogliatti G.M., Caldwell S., Singh J. Organelle reorganization in bovine oocytes during dominant follicle growth and regression // *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2015. Vol. 13. Article number 124. DOI: 10.1186/s12958-015-0122-0.
19. Новичкова Д. А., Кузьмина Т. И., Хонина Т. Г. Воздействие кремнийсодержащих соединений на липидом ооцитов *Sus scrofa domesticus* // *Технологии живых систем*. 2018. Т. 15. № 5. С. 58–63. DOI: 10.18127/j20700997-201805-08.
20. Olzmann J. A., Carvalho P. Dynamics and functions of lipid droplets // *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2019. Vol. 20. No. 3. Pp. 137–155.
21. Okotrub K. A., Mokrousova V. I., Amstislavsky S. Y., Surovtsev N. V. Lipid Droplet Phase Transition in Freezing Cat Embryos and Oocytes Probed by Raman Spectroscopy // *Biophysical Journal*. 2018. Vol. 7. No. 115 (3). Pp. 577–587. DOI: 10.1016/j.bpj.2018.06.019.
22. Mokrousova V. I., Okotrub K. A., Amstislavsky S. Y., Surovtsev N. V. Raman spectroscopy evidence of lipid separation in domestic cat oocytes during freezing // *Cryobiology*. 2020. Vol. 95. Pp. 177–182. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2020.03.005
23. Fu X.-W., Shi W.-Q., Zhang Q.-J., Zhao X.-M., Yan Ch. L., Hou Y.-P., Zhou G.-B., Fan Zhi-Q., Suo L., Wusiman Ab., Wang Y.-P., Zhu Shi-En. Positive effects of Taxol pretreatment on morphology, distribution and ultrastructure of mitochondria and lipid droplets in vitrification of in vitro matured porcine oocytes // *Animal reproduction science*. 2008. Vol. 115. Pp. 158–168. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2008.12.002.
24. Quinn P. J. A lipid-phase separation model of low-temperature damage to biological membranes // *Cryobiology*. 1985. Vol. 22. No. 2. Pp. 128–146. DOI: 10.1016/0011-2240(85)90167-1.
25. Romek M., Gajda B., Krzysztofowicz E., Keczynski M., Smorag Z. New technique to quantify the lipid composition of lipid droplets in porcine oocytes and pre-implantation embryos using Nile Red fluorescent probe // *Theriogenology*. 2011. Vol. 75 (1). Pp. 42–54. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2010.06.040.
26. McEvoy T., Coull G., Broadbent P., Hutchinson J., Speake B. Fatty acid composition of lipids in immature cattle, pig and sheep oocytes with intact zona pellucida // *Reproduction*. 2000. Vol. 118. No. 1. Pp. 163–170.

Об авторах:

Дарья Андреевна Старикова¹, научный сотрудник, ORCID 0000-0001-5324-4090, AuthorID 693374; +7 911 738-95-12, live8avis@mail.ru

Татьяна Ивановна Кузьмина¹, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биологии развития, ORCID 0000-0002-4218-6080, AuthorID 78163; +7 921 392-19-47, prof.kouzmina@mail.ru

¹Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия

Features of functional activity of lipidome in *Sus scrofa domesticus* oocytes after intraovarian vitrification

D. A. Starikova¹✉, T. I. Kuzmina¹

¹Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint Petersburg, Russia

✉E-mail: live8avis@mail.ru

Abstract. The creation of a cryobank of reproductive cells and tissues opens up the possibility of intensifying the introduction of innovative cellular reproductive technologies into the practice of husbandry, biomedicine, and veterinary medicine. **The aim** of the study was to evaluate the effects of silicon dimethylglycerolate (SDMG) on the morphology of gametes and lipidome of porcine oocytes after intraovarian vitrification (IOV). **Methods.** Fragments (15 × 20 mm) of porcine ovaries were subjected to vitrification, which were exposed to cryoprotective agents (CPA1 and CPA2) for 25 minutes and 15 minutes. Composition: CPA1: 7.5 % ethylene glycol (EG), 7.5 % dimethyl sulfoxide (DMSO), 65 % PBS, with 2M bovine serum albumin (BSA) and CPA2 – 2.0% EG, 20 % DMSO, 60 % PBS, 1M BSA, 0.5 mol/l sucrose. The effectiveness of using SDMG at the studied concentrations on

the cryopreservation of bio objects was assessed by: the morphology of gametes and indicators of the functional activity of the lipidome (morphology, localization and fluorescence intensity of lipid droplets visualized with Nile Red vital dye) in oocytes. **Results.** 0.2 % SDMG does not induce apoptotic processes in granulosa cells, reduces the level of naked cells. Addition of 2 % SDMG into the composition of cryoprotective media, the proportion of gametes with signs of morphological degeneration decreases (from 31 % to 13 %, $P < 0.001$). SDMG contributes to an increase in the level of gametes with positive indicators of the functioning of lipid droplets: the proportion of gametes with diffuse localization increases (from 58 % to 83 %, $P < 0.001$); the level of cells with low fluorescence intensity of the Nile red/lipid droplets complex (from 16 % to 29 %, $P < 0.05$) and the proportion of gametes with lipid granules (47 % vs 68 %, $P < 0.005$) increased. **Scientific novelty.** For the first time, the effects of SDMG on the morphology of female gametes, apoptotic processes in the chromatin of granulosa cells and the functional activity of the lipidome of porcine oocytes under the influence of ultralow temperatures at IOV were identified. The media for IOV of oocyte-cumulus complexes were modernized with the addition of 0.2 % or 2 % SDMG.

Keywords: oocyte, pig, lipid droplets, DNA, Nile red, vitrification.

For citation: Starikova D. A., Kuz'mina T. I. Osobennosti funktsional'noy aktivnosti lipidoma v ootsitakh *Sus scrofa domestica* pri intraovarial'noy vitrifikatsii [Features of functional activity of lipidome in *Sus scrofa domestica* oocytes after intraovarian vitrification] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 62–72. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-62-72. (In Russian.)

Date of paper submission: 02.09.2022, **date of review:** 06.10.22, **date of acceptance:** 17.10.22.

References

1. Shinkaretskaya G. G. Genofond zhivotnykh: problema issledovaniya i sokhraneniya [Animal gene pool: the problem of research and meeting] // Education and Law. 2020. No. 2. Pp. 128–137. (In Russian.)
2. Bojic S., Murray A., Bentley B. L., Spindler R., Pawlik P., Cordeiro J. L., Bauer R., de Magalhães J. P. Winter is coming: the future of cryopreservation // BMC Biology. 2021. Vol. 24. No. 19 (1). DOI: 10.1186/s12915-021-00976-8.
3. Campos L. B., da Silva A. M., Praxedes E. C. G. Vitrification of collared peccary ovarian tissue using open or closed systems and different intracellular cryoprotectants // Cryobiology. 2019. No. 91. Pp. 77–83.
4. Amstislavsky S., Mokrousova V., Brusentsev E., Okotrub K., Comizzoli P. Influence of Cellular Lipids on Cryopreservation of Mammalian Oocytes and Preimplantation Embryos: A Review // Biopreservation and biobanking. 2019. Vol. 17. No. 1. Pp. 76–83. DOI: 10.1089/bio.2018.0039.
5. Asl M. M., Rahbarghazi R., Beheshti R., Alihemmati A., Aliparasti M. R., Abedelahi A. Effects of Different Vitrification Solutions and Protocol on Follicular Ultrastructure and Revascularization of Autografted Mouse Ovarian Tissue // Cell Journal. 2021. Vol. 22. No. 4. Pp. 491–501. DOI: 10.22074/cellj.2021.6877.
6. Ekpo M. D., Xie J., Hu Y., Liu X., Liu F., Xiang J., Zhao R., Wang B., Tan S. Antifreeze Proteins: Novel Applications and Navigation towards Their Clinical Application in Cryobanking // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 27. No. 23 (5). Article number 2639. DOI: 10.3390/ijms23052639.
7. Sarkisyan N. G., Ron' G. I., Tuzankina I. A., Khonina T. G., Larionov L. P., Simbirtsev A. S., Drozdova L. I., Timchenko A. S. Morfologicheskaya otsenka effektivnosti ispol'zovaniya farmakologicheskikh kompozitsiy na osnove kremniyorganicheskogo glitserogidrogelya [Morphological evaluation of the effectiveness of the use of pharmacological compositions based on organosilicon glycerohydrogel] // Immunologiya. 2017. Vol. 38. No. 2. Pp. 91–96. (In Russian.)
8. Shadrina E. V. Sintez i svoystva polioliatov kremniya i gidrogeley na ikh osnove: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk [Synthesis and properties of silicon polyolates and hydrogels based on them: abstract of the dissertation ... candidate of chemistry sciences]. Ekaterinburg, 2011. 26 p. (In Russian.)
9. Barkova A. S., Shurmanova E. I., Khonina T. G., Millstein I.M. Possibilities of using functional biologically active organosilicon compounds in veterinary practice // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 11 (202). Pp. 53–58. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-202-11-53-58.
10. Khonina T. G., Larchenko E. Yu., Shadrina E. V., Ganebnykh I. N., Boyko A. A., Matochkina E. G., Kodess M. I., Chupakhin O. N. Sostav, stroenie i svoystva farmakologicheskii aktivnykh dimetilglitserolatov kremniya [Composition, structure and properties of pharmacologically active silicon dimethylglycerolates] // Russian Chemical Bulletin. 2010. No. 12. Pp. 2175–2180. (In Russian.)
11. Stanislavovich T. I., Kuz'mina T. I., Molchanov A. V. Vliyaniye intraovarial'noy vitrifikatsii na pokazateli kriorezistentnosti ootsit-kumulyusnykh kompleksov sviney [Influence of intraovarian vitrification on indices of cryoresistance of oocyte-cumulus complexes of pigs] // Voprosy veterinarno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii. 2019. No. 4. Pp. 65–70. DOI: 10.17238/issn2072-6023.2019.4.65. (In Russian.)

12. Stanislavovich T. I., Kuz'mina T. I. Modifikatsiya etapov tekhnologii intraovarial'noy vitrifikatsii ootsitov Sus Scrofa Domesticus [Modification of the stages of the technology of intraovarian vitrification of oocytes Sus Scrofa Domesticus] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 8 (199). Pp. 51–57. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-51-57. (In Russian.)
13. Villaverde A. I., Fioratti E. G., Penitenti M., Ikoma M. R., Tsunemi M. H., Papa F. O., Lopes M. D. Cryoprotective effect of different glycerol concentrations on domestic cat spermatozoa // Theriogenology. 2013. Vol. 80. No. 7. Pp. 730–737. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2013.06.010.
14. Zhang P. Q., Tan P. C., Gao Y. M., Zhang X. J., Xie Y., Zheng D. N., Zhou S. B., Li Q. F. The effect of glycerol as a cryoprotective agent in the cryopreservation of adipose tissue // Stem cell research & therapy. 2022. Vol. 13. Article number 152. DOI: 10.1186/s13287-022-02817-z.
15. Alimova A.D., Kundik Yu.V., Stanislavovich T.I., Kuz'mina T.I. Vliyanie dimetilglitserolata kremniya na zhiznesposobnost' kletok granulezy iz ovarial'nykh follikulov Sus Scrofa Domesticus [Effect of silicon dimethylglycerolate on the viability of granulosa cells from ovarian follicles of Sus Scrofa Domesticus] // Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii. 2019. No. 2. Pp. 61–63. DOI:10.17238/issn2072-6023.2019.2.
16. Abazarikia A., Ariu F., Rasekhi M., Zhandi M., Ledda S. Distribution and size of lipid droplets in oocytes recovered from young lamb and adult ovine ovaries // Reproduction, Fertility and Development. 2020. Vol. 32. No. 11. Pp. 1022–1026. DOI: 10.1071/RD20035.
17. Pedroza G. H., Lanzon L. F., Rabaglino M. B., Walker W. L., Vahmani P., Denicol A. C. Exposure to non-esterified fatty acids in vitro results in changes in the ovarian and follicular environment in cattle // Animal Reproduction Science. 2022. Vol. 238. Article number 106937. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2022.106937.
18. Dadarwal D., Adams G.P., Hyttel P., Brogliatti G.M., Caldwell S., Singh J. Organelle reorganization in bovine oocytes during dominant follicle growth and regression // Reproductive Biology and Endocrinology. 2015. Vol. 13. Article number 124. DOI: 10.1186/s12958-015-0122-0.
19. Novichkova D. A., Kuz'mina T. I., Khonina T. G. Vozdeystvie kremniysoderzhashchikh soedineniy na lipidom ootsitov Sus scrofa domesticus [The effect of silicon-containing compounds on the lipidome of Sus scrofa domesticus oocytes] // Tekhnologii zhivyykh sistem. 2018. Vol. 15. No. 5. Pp. 58–63. DOI: 10.18127/j20700997-201805-08. (In Russian.)
20. Olzmann J. A., Carvalho P. Dynamics and functions of lipid droplets // Nature Reviews Molecular Cell Biology. 2019. Vol. 20. No. 3. Pp. 137–155.
21. Okotrub K. A., Mokrousova V. I., Amstislavsky S. Y., Surovtsev N. V. Lipid Droplet Phase Transition in Freezing Cat Embryos and Oocytes Probed by Raman Spectroscopy // Biophysical Journal. 2018. Vol. 7. No. 115 (3). Pp. 577–587. DOI: 10.1016/j.bpj.2018.06.019.
22. Mokrousova V. I., Okotrub K. A., Amstislavsky S. Y., Surovtsev N. V. Raman spectroscopy evidence of lipid separation in domestic cat oocytes during freezing // Cryobiology. 2020. Vol. 95. Pp. 177–182. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2020.03.005
23. Fu X.-W., Shi W.-Q., Zhang Q.-J., Zhao X.-M., Yan Ch. L., Hou Y.-P., Zhou G.-B., Fan Zhi-Q., Suo L., Wusiman Ab., Wang Y.-P., Zhu Shi-En. Positive effects of Taxol pretreatment on morphology, distribution and ultrastructure of mitochondria and lipid droplets in vitrification of in vitro matured porcine oocytes // Animal reproduction science. 2008. Vol. 115. Pp. 158–168. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2008.12.002.
24. Quinn P. J. A lipid-phase separation model of low-temperature damage to biological membranes // Cryobiology. 1985. Vol. 22. No. 2. Pp. 128–146. DOI: 10.1016/0011-2240(85)90167-1.
25. Romek M., Gajda B., Krzysztofowicz E., Kepczynski M., Smorag Z. New technique to quantify the lipid composition of lipid droplets in porcine oocytes and pre-implantation embryos using Nile Red fluorescent probe // Theriogenology. 2011. Vol. 75 (1). Pp. 42–54. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2010.06.040.
26. McEvoy T., Coull G., Broadbent P., Hutchinson J., Speake B. Fatty acid composition of lipids in immature cattle, pig and sheep oocytes with intact zona pellucida // Reproduction. 2000. Vol. 118. No. 1. Pp. 163–170.

Authors' information:

Darya A. Starikova¹, researcher, ORCID 0000-0001-5324-4090, AuthorID 693374; +7 911 738-95-12, live8avis@mail.ru

Tatyana I. Kuzmina¹, doctor of biological sciences, professor, chief researcher, head of the laboratory of developmental biology, ORCID 0000-0002-4218-6080, AuthorID 78163; +7 921 392-19-47, prof.kouzmina@mail.ru

¹Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint Petersburg, Russia

К вопросу использования маргинальных земель с участием иммигрантов

А. Н. Митин¹, О. А. Рущицкая²✉, Б. А. Воронин², Т. И. Кружкова²

¹Уральский государственный юридический университет имени В. Ф. Яковлева, Екатеринбург, Россия

²Уральского государственного аграрного университета, Екатеринбург, Россия

✉E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

Аннотация. Цель работы – выявление значимости сокращения маргинальных земель, имеющих внутреннее или периферийное местоположение в государстве (районе), не используемых по различным причинам через механизм государственной миграционной политики и государственной программы вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения. **Методы.** Используются методы системного анализа, сравнительного анализа, структурного анализа, систематизации, обобщения, аналогии, сопоставления отечественного и зарубежного опыта, оценки правовой базы. **Результаты.** Проанализированы концептуальные аспекты явления маргинальности и процессы маргинализации в обществе, поведение маргинальной личности. С позиций экономики обосновано, что при введении в оборот маргинальных земель концентрация сельского населения на них становится барометром развития экономики в целом. Предложена идея пересмотра в России концептуальных положений демографического развития, которая бы комплексно учитывала новые изменения миграционной политики, целевое освоение маргинальных земель с широким привлечением иммигрантов. На основе официальных данных подтверждено, что неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения в России составляют 11,8 % общей площади таких земель. Подтверждены результаты многолетних исследований ученых, которые отмечали, что миграционные связи между Украиной и Россией всегда были плотными в силу географической и этнокультурной близости. Аргументация о принятии специальной государственной программы освоения маргинальных земель с широким привлечением иммигрантов, разработке региональных стратегических программ на основе принципов нелинейного развития подкреплена данными по современному состоянию и перспективами дальнейшего устойчивого развития сельского хозяйства России. **Научная новизна** заключается в исследовании особой актуальности вовлечения в оборот маргинальных земель с предоставлением их лицам, изъявившим желание получить гражданство России, а затем на постоянной основе осваивать выделенные ресурсы в аграрной сфере экономики.

Ключевые слова: аграрная сфера экономики, маргинализация в обществе, маргинальные земли, нелинейное развитие, пространственное перемещение, миграция, иммигранты, стратегическое развитие, государственная программа освоения маргинальных земель, региональные программы.

Для цитирования: Митин А. Н., Рущицкая О. А., Воронин Б. А., Кружкова Т. И. К вопросу использования маргинальных земель с участием иммигрантов // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 73–85. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-73-85.

Дата поступления статьи: 28.08.2022, **дата рецензирования:** 24.09.2022, **дата принятия:** 06.10.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Специфику общества, являющегося по своей природе неоднородным, определяет социальная структура. Данная структура включает в себя определенные элементы, направленные на изменения социальной системы. В настоящее время в российском обществе также имеют место подобные тенденции, то есть появляются новые социальные группы, оказывающие влияние на происходящие в стране социально-экономические процессы. Одна

из таких групп придерживается концепции маргинальности.

В исследовании К. В. Конышева и Н. М. Струка отмечено, что процессы маргинализации анализировались в трудах Г. Зиммеля, К. Маркса, Э. Дюркгейма, М. Вебера. Тот же Э. Дюркгейм отмечал, что в процессе маргинализации проявляются неустойчивость и противоречивость новых ценностно-нормативных установок индивида. Авторы ссылаются на М. Вебера, который трактует «маргинальность

через возникновение новых сообществ (профессиональных, статусных, религиозных и др.), отличающихся по поведению и выбранному стилю жизни от формально признанных социальных групп» [1, с. 216].

Понятие «маргинал» происходит от лат. *margo*, *marginalis* и переводится как «край» или «находящийся на краю, на границе различных систем». В Средние века под этим термином понималось – «писать на полях, рядом с основным текстом». Известный американский социолог Р. Парк в работе «Человеческая миграция и маргинальный человек», опубликованной в 20-е гг. XX в., давал определение маргинальности как «положение индивидов, находящихся на границе двух различных, конфликтующих между собой культур». Он занимался исследованием положения мигрантов и прежде всего негритянского населения Чикаго. Ученый выявил трудности адаптации мигрантов в новых социально-экономических и культурных условиях. На основании исследования он определил маргинальность как «положение в социальной структуре, которое характеризуется конфликтом, вызванным нахождением индивида или социальной группы в пограничной ситуации, вызванной присутствием между двумя и более культурными образцами». Р. Парк также выявил психологические особенности маргинального индивида. Он отметил, что, поскольку маргинальный индивид испытывает психологический кризис, ему свойственны такие психологические реакции, как одиночество, беспокойство о будущем себя и своей семьи, боязнь агрессии со стороны окружающих [2, с. 172–175], моральное смятение, ожидание помощи от государства, на территории которой он оказался. Поэтому такое поведение должно быть направлено прежде всего на прекращение конфликта. Для получения позитивного результата большинство маргинальных групп при помощи государства могли стать мощным трудовым ресурсом и преодолеть свое маргинальное состояние.

Явление миграции известно с древнейших времен. В XXI в. огромный разрыв в уровне экономического развития стран привел к росту миграционных потоков. Мигранты, неспособные адаптироваться в новой социальной среде характеризуются высокой степенью маргинальности. Активная жизненная позиция отдельных мигрантов будет способствовать изменению их положения в обществе.

Термин «маргинальность» в полной мере относится не только к социальной структуре, но и к территориям. В науке о Земле «маргинальные территории определяются как земли, имеющие внутреннее или периферийное местоположение в государстве (районе). В народном хозяйстве данный термин применяется для определения недоходной компа-

нии. Исходя из этого, можно сказать, что маргинальными территориями называются крайние, пограничные, малодоступные, частично замкнутые, малообжитые, малозаселенные земельные анклавы» [23]. Например, к маргинальным территориям могут относиться заброшенные фермы, пастбища, земли, на которых затруднено производство сельскохозяйственной продукции из-за почвенных, климатических и других условий, а также располагающиеся на отдаленной периферии региона. Все это характерно и для Российской Федерации.

В социально-экономической географии, по мнению А. И. Зырянова, «маргинальная территория может определяться как периферийная, крайняя, удаленная, запредельная, дотируемая, слабозаселенная, малоосвоенная, глухая, отдаленная, дикая, уединенная, далекая, предельная, на обочине, на краю, изолированная, труднодоступная, окраинная, приграничная» [3, с. 2].

При рассмотрении этой проблемы с позиций экономики концентрация сельского населения на менее благоприятных или маргинальных сельскохозяйственных землях является барометром развития экономики в целом. Пока есть много земель для обработки, они поглощают сельских мигрантов, желающих осваивать эти земли, увеличивают численность населения и вытесняют неквалифицированную рабочую силу из других секторов экономики. Отсюда следует вывод: изменения в землепользовании критически связаны с моделью экономического развития в стране. Они могут быть более эффективными при обращении к принципам нелинейного развития экономики.

Методология и методы исследования (Methods)

Привлечение мигрантов в аграрную сферу экономики во многом зависит от рабочей силы в сельском хозяйстве, которая стремительно уменьшается по причинам депопуляции и низкой рождаемости. По этому поводу совместными усилиями ученых, политиков, общественных деятелей, всех людей доброй воли за многие годы предлагались различные методологические модели реформирования, касающиеся взаимоотношений в сфере демографии и экономики. Эта проблематика чрезвычайно многоаспектна и одновременно методически сложна не только для восприятия, но и практического внедрения моделей развития. Об этом можно сказать образно: *urbi et orbi* – «городу и миру».

Снижение численности населения в России началось еще с конца 1992 г. от 148,6 до 146,3 млн человек. За период до 2000 г. естественная убыль составила почти 6,8 млн человек [4]. К 2009 г. страна была в демографической яме: количество россиян сократилось до 142,7 млн человек. Следующие несколько лет – до 2014 г. – численность населения медленно росла. В начале 2015 г. было

уже 146,3 млн граждан. Численность населения выросла на 2,6 млн человек. Правда, не естественным путем, а за счет присоединения Крыма [5]. С 2000 по 2021 г. убавилось 100 тысяч населения, и численность граждан составила 146,2 млн человек. Смертность почти все время превышала рождаемость, она увеличилась и в период пандемии. Получается, что в 2022 г. стране потребуется не менее 2,5 млн человек, чтобы вернуться к цифрам 1992 г. Этот рост возможен только при условиях увеличения рождаемости и одновременно за счет переезда иммигрантов при освоении ими маргинальных земель. Между тем, по прогнозу ООН 2000 г. (вариант средней рождаемости), к 2050 г. население России сократится до 104,3 млн человек [6]. В этой связи для России желателен пересмотр Концепции демографического развития в комплексе с миграционной политикой и целевым освоением маргинальных земель в контексте развития сельских территорий.

С одной стороны, возможность расширения менее благоприятных, или маргинальных сельскохозяйственных земель целесообразно главным образом для удовлетворения жизненных потребностей сельских домашних хозяйств. Во-вторых, менее благоприятные сельскохозяйственные земли могут быть важным преимуществом, ценностью для людей, лишившихся по разным причинам возможности иметь земельный участок и продолжать жизнедеятельность в сельской местности. В-третьих, освоение маргинальных земель, ранее находившихся в обороте среди земель сельскохозяйственного назначения, позволяет создать и коммерчески ориентированную экономическую деятельность. Для экономики это положительное явление. Такие маргинальные земли государство вправе отдать определенным группам иммигрантов для восстановления, использования и получения добавленной стоимости, допустим, в долгосрочную аренду иностранцам или бесплатно гражданам России.

В методологическом плане здесь возникают определенные риски. Часть рабочей силы, участвующей в освоении маргинальных земель, при определенных условиях потенциально может быть поглощена коммерческим первичным производством и современными развитыми секторами экономики. Однако пока будет существовать остаточный резерв рабочей силы, люди, переходящие из сельской экономики в современный информационный и производственный сектор, не обязательно будут в лучшем положении. В этом случае государству следует предусмотреть целенаправленную политику в отношении домохозяйств на маргинальных землях для повышения реальной заработной платы и сокращения масштабов возникновения сельской бедности. При направлении инвестиций на повышение уровня жизни и производительности традицион-

ного сельского хозяйства на маргинальных землях обязательно появится прогресс в части повышения экономической эффективности от этой деятельности. Так что иммиграция на маргинальные земли должна и может быть мотивированной.

Существует риск и в том, что особый интерес может возникнуть у крупных агрохолдингов в случае возвращения земель в сельскохозяйственный оборот и проведения их рекультивации за счет государства. Эта заинтересованность может быть устранена при изменении миграционной политики государства в случае привлечения иммигрантов для восстановления маргинальных земель. При этом на выделенных территориях необходимо:

- обеспечить защиту собственности, доступ к субсидиям, низкие тарифы;
- установить низкие барьеры для выполнения государственных требований;
- оказывать содействие в строительстве дорог, установлении связей взаимодействия с торговыми сетями, сотрудничестве с органами местного самоуправления и др.

В современных условиях санкционной политики со стороны стран Западной Европы и США проблема возвращения в оборот заброшенных сельскохозяйственных земель в нашей стране обострилась. Еще в 2020 г. правительству было поручено внести изменения в законодательство, позволяющие упростить возвращение в оборот земель, находящихся в долевой собственности, и утвердить государственную программу эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации. На основе системного и статистического анализа, а также данных Росреестра выявлено, что за организациями и гражданами числится 193,2 млн га сельхозугодий, при этом всего в России 222 млн га таких земель. Получается, что не используется из них почти 100 млн га [7]. При этом необходимо оказывать поддержку со стороны государства заинтересованным гражданам.

В обобщенном исследовании Э. А. Калафатова приводятся данные о площади неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, сельскохозяйственных угодий и пашни в России по состоянию на 1 января 2020 г. Неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения составляют 11,8 % общей площади земель сельскохозяйственного назначения в стране. Не используется 16,5 % земель сельскохозяйственных угодий и 16,6 % пашни [8, с. 261]. Особых изменений к лучшему за 2021–2022 гг. не произошло. По нашему мнению, проблема эта действительно глобальная, требующая незамедлительного принятия соответствующих политических и управленческих решений.

Результаты (Results)

Минсельхоз России в проекте «Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации»¹, запланировал общий объем финансирования 13,6 млрд руб. за период 2021–2030 гг. О значении земельных ресурсов свидетельствует Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2025 гг.: рост агропромышленного производства к 2025 г. должен составить 11,6 % к уровню 2017 г. [9]. Есть основания полагать, что эти показатели будут скорректированы по причине объявленных против России санкций, поскольку вовлечение в хозяйственный оборот маргинальных земель потребует дополнительного бюджетного финансирования. В этой связи Г. А. Полунин дает оценку двум подходам к решению данной проблемы.

Первый подход основывается на принципах неоклассической экономической теории. Суть ее заключается в следующем: земля – это редкий и исключительно полезный ресурс и поэтому в случае экономической нецелесообразности в определенный исторический момент, его необходимо сохранять для дальнейшего возможного использования в сельском хозяйстве. То есть сторонники данной точки зрения выступают против использования сельскохозяйственных земель не по назначению.

Сторонники другой точки зрения выступают за свободное использование земель, исходя из текущей экономической ситуации. «Вопрос о выращивании на них сельскохозяйственной продукции, или застройке их жильем, или размещении на них промышленных, офисных, торговых либо транспортных объектов решается на основе закона равновесия спроса и предложения» [10, с. 5]. Как отмечает С. А. Липски, «использование имеющихся в России земельных ресурсов сопряжено с рядом проблем, в том числе природно-климатического и институционального характера» [11, с. 109]. Но управленческие решения по маргинальным землям должны принимать органы власти в субъектах и на уровне местного самоуправления, как по причине неиспользования значительной части маргинальных земель из-за неясного статуса сельскохозяйственных угодий, приватизированных в начале 1990-х гг., так и по другим основаниям [12, с. 316]. Здесь следует заметить, что порядок аренды или приобретения земельных участков для граждан России и иностранцев отличается.

¹ Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, утверждена постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 (в редакции от 8 февраля 2019 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. № 32. Ст. 4549.

В краткосрочной перспективе устранение проблем с маргинальными землями может быть осуществлено через механизм государственной миграционной политики и Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения. В миграционной политике различают миграцию обычную и вынужденную. Причинами вынужденной миграции могут быть стихийные бедствия, преследования по политическим или религиозным мотивам, другие чрезвычайные обстоятельства экономического, природного, техногенного характера. В законодательстве РФ России закреплены две категории вынужденных мигрантов – «вынужденные переселенцы» и «беженцы». Сложность адаптация в новых социальных условиях может способствовать маргинализации личности. Граждане РФ стараются поддерживать вынужденных мигрантов. Но далеко не все проблемы вынужденных мигрантов удается решить оперативно. Одной из основных является получение ими соответствующего статуса: беженца, получение разрешения на временное проживание и в итоге гражданства Российской Федерации.

Для устранения подобных проблем подписан Указ Президента Российской Федерации от 11.07.2022 № 440 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 24 апреля 2019 г. № 183 „Об определении в гуманитарных целях категорий лиц, имеющих право обратиться с заявлениями о приеме в гражданство Российской Федерации в упрощенном порядке“ и Указ Президента Российской Федерации от 29 апреля 2019 г. № 187 „Об отдельных категориях иностранных граждан и лиц без гражданства, имеющих право обратиться с заявлениями о приеме в гражданство Российской Федерации в упрощенном порядке“»².

В 2018 г. был принят закон, который давал право Президенту РФ «в гуманитарных целях» определять, какие категории иностранцев и из каких стран имеют право на получение гражданства РФ в упрощенном порядке, и устанавливать перечень документов, которые желающие стать россиянами должны предоставить. В конце апреля 2019 г. Президент РФ впервые этим правом воспользовался, подписав указ об упрощенном порядке получения российского гражданства постоянно проживаю-

² Указ Президента Российской Федерации от 11.07.2022 № 440 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 24 апреля 2019 г. № 183 „Об определении в гуманитарных целях категорий лиц, имеющих право обратиться с заявлениями о приеме в гражданство Российской Федерации в упрощенном порядке“ и Указ Президента Российской Федерации от 29 апреля 2019 г. № 187 „Об отдельных категориях иностранных граждан и лиц без гражданства, имеющих право обратиться с заявлениями о приеме в гражданство Российской Федерации в упрощенном порядке“». Дата опубликования: 11.07.22. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207110002> (дата обращения: 13.05.2022).

щим на территории ДНР и ЛНР. С тех пор в этот указ пять раз вносились изменения и уточнения. В результате к 11 июля 2022 г. в целях защиты прав и свобод человека и гражданина, руководствуясь общепризнанными принципами и нормами международного права», возможностью получить российский паспорт без обязательного срока проживания в России с видом на жительство в течение пяти лет, без сдачи экзамена на знание русского языка и без подтверждения законного источника средств к существованию имели уже не только граждане Украины, ДНР и ЛНР, постоянно проживающие на территории ДНР, ЛНР, но и граждане Украины, постоянно проживающие на территории Запорожской и Херсонской областей Украины. Теперь все граждане Украины, республик Донбасса, а также лица без гражданства, постоянно проживающие на территории ДНР, ЛНР или Украины, имеют право обратиться с заявлениями о приеме в российское гражданство в упрощенном порядке. Никакого официального отказа от украинского гражданства от тех граждан Украины, которые захотят воспользоваться упрощенным порядком, не потребуется. Правом подать заявление о приеме в гражданство РФ наделяются все граждане Украины, но «физически сделать это смогут только те, кто переедет на территорию РФ или ДНР и ЛНР»³.

По мнению С. В. Соболевой, «природа миграции населения – это, прежде всего, ее территориальное перемещение» [13, с. 21]. Сама же возможность пространственного перемещения – это одно из ряда человеческих свойств или способностей. В советской литературе иногда встречались и другие трактовки природы миграции населения, в которых природа миграции объяснялась не только сменой места жительства и изменением трудовой деятельности. В работе Л. Л. Рыбаковского, анализировавшего свойства миграции, отмечалось, что «любые пространственные перемещения сколь бы важными они ни были, не являются потребностью человека, как, скажем, сон, прием пищи и т. д. Они всего лишь средство удовлетворения других потребностей, среди которых – сохранение жизни, получение работы, улучшение материального благосостояния, поступление на учебу, обеспечение отдыха и т. д.» [14, с. 138]. Так что природа миграции социальна, а все виды пространственного перемещения насе-

³ Указ Президента Российской Федерации от 11.07.2022 № 440 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 24 апреля 2019 г. № 183 „Об определении в гуманитарных целях категорий лиц, имеющих право обратиться с заявлениями о приеме в гражданство Российской Федерации в упрощенном порядке“ и Указ Президента Российской Федерации от 29 апреля 2019 г. № 187 „Об отдельных категориях иностранных граждан и лиц без гражданства, имеющих право обратиться с заявлениями о приеме в гражданство Российской Федерации в упрощенном порядке“». Дата опубликования: 11.07.22. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207110002> (дата обращения: 13.05.2022).

ления имеют общественную значимость. Для России определения, близкие к понятию «миграция», можно найти в работах конца XIX – начала XX в. В энциклопедическом словаре Ф. А. Брокгауза и И. А. Эфрона тоже упоминаются термины «миграция», «иммиграция» и «эмиграция», последняя рассматривается как выселение из родной страны навсегда [15].

В процессе специальной военной операции, на концептуальном уровне, российская миграционная политика пока далека от восприятия украинских мигрантов как важного трудового и демографического ресурса для развития страны. Вероятнее всего, только после ее завершения могут появиться новые возможности для ее изменения, что позволило бы в контексте принципиально иной, чем прежде, геополитической ситуации, пересмотреть принципы и условия привлечения мигрантов с Украины в свои регионы.

А между тем ученые давно отмечали, что вследствие географической и этнокультурной близости миграционные процессы между нашими странами играли большую роль. В то же время практически невозможно было предвидеть массовую миграцию из Украины в Россию до начала вооруженного конфликта 2014 г. С 1994 г. там сформировался совершенно уникальный мелкотоварный уклад выживания, который никак не фиксируется ни правительством, ни статистикой [16, с. 9].

Начало специальной военной операции на территории ДНР и ЛНР весной 2022 г. вызвало новый поток украинских мигрантов в разные страны. В нашей стране для таких беженцев применимо понятие «необходимых и близких мигрантов», так как большинство из них не только являются этническими русскими или происходят из смешанных русско-украинских семей, свободно говорят на русском языке, но и имеют профессию и квалификацию, востребованную на российском рынке труда. С. В. Рязанцев справедливо отмечает, что второй раз в новейшей истории, страна может получить иммиграционный поток, который отвечает логике ее демографического развития, не требует значительных затрат на интеграцию приезжих, представляет практически идеальный демографический ресурс с точки зрения этнических и профессиональных характеристик [17, с. 43]. И действительно, страна, принимающая большое количество мигрантов из Центральной Азии на временную работу и на постоянное место жительства, может внести необходимые коррективы в свою миграционную политику и политику, связанную с введением в оборот имеющихся в достаточном количестве маргинальных земель.

Для более глубокого проникновения в сущность украинской миграции важно обратиться к ее истории с конца XIX – начала XX в., когда произошла первая крупная волна трудовой миграции украинского населения. Трудоспособное население Западной Украины массово переезжало в Канаду, в то время как жители Киевской, Харьковской и других губерний России перебирались в Казахстан, Кубань, Поволжье, Сибирь и на Дальний Восток. Помимо получения работы, у всех мигрантов была мечта на приобретение земельных наделов. Вторая волна миграции имела политические причины и была связана с Первой мировой войной, а также с изменениями в России после событий 1917 г. В советский период перемещения крестьян были мало-значительны, не считая выселения семей на другие территории по причинам политического характера. Третья волна миграции наблюдалась в годы Второй мировой войны. В начале 1990-х гг. после развала СССР миграционные процессы усилились с переездом в западные страны, первоначально для поиска рабочих мест, а затем иммиграции. Это было начало четвертой волны миграции, имеющей преимущественно экономический характер. Постсоветская Украина – это уникальный прецедент в истории мировой демографии, когда целый народ, населяя обжитую, не бедную природными ресурсами, ранее индустриально развитую страну, стал покидать ее без военного давления и катастроф.

Если ООН в 2010 г. зарегистрировало 8 млн украинских мигрантов, покинувших Украину в поисках заработка, то через четыре года, после 2014 г., их насчитывалось уже около 12 млн человек. Это очень большой масштаб миграции в западные страны с учетом того, что к тому времени в Украине было 22,5 млн трудоспособного населения и из них, только 12,5 млн платили налоги. Тогда заместитель главы Федерации профсоюзов Украины С. Кондрюк отмечал: «на одну вакансию претендовало минимум восемь безработных, а в некоторых регионах доходило до ста претендентов на место. С учетом того, что в стране была искусственно занижена до прожиточного уровня заработная плата, трудоустройство фактически потеряло смысл» [18]. Вследствие этого в Европу эмигрировало не менее 3 млн граждан Украины, значительная часть которых стремилась найти работу в Польше, Чехии, Испании, Италии.

Сегодня бегство из Украины – один из крупнейших миграционных потоков Старого Света. Пока что людям приходится обустривать жизнь в новых странах. Если верить информационным источникам, то к 12 марта 2022 г., по данным ООН, 2,6 млн украинских беженцев покинули территорию Украины и были вынуждены бежать в ближайшие к западу от Украины страны. К 13 марта 2022 г., по

данным ООН, количество беженцев с Украины достигло 2,8 млн., к 14 марта – 3 млн, к 16 марта – 3,2 млн, причем в Польшу бежало более 1,9 млн. К 5 июля 2022 г., по данным ООН, уже 8,8 млн украинских беженцев покинули территорию Украины. В Польшу бежало более 4,5 млн. украинцев. Если опираться на украинские данные, то 1,7 млн. украинцев переехали в Россию. Российские власти называют цифры более 2 млн. По украинским данным, страну покинуло 7 млн. человек [19]. Достаточно много беженцев с Украины едут на Урал. В Свердловской и Челябинской областях им оказывают необходимую помощь. Есть основания полагать, что пока не закончится специальная военная операция, рассчитывать на уменьшение количества беженцев не приходится.

До 17 августа 2022 г. гражданам Украины, ДНР и ЛНР рекомендовано оформить разрешительные документы на право проживания в России либо осуществления трудовой деятельности. Однако и после этой даты они вправе оставаться на территории страны. В отношении них не будут применяться меры, связанные с привлечением к административной ответственности за нарушение режима пребывания и осуществления трудовой деятельности на территории РФ, а также высылкой за ее пределы и ограничением на въезд. В августе 2022 г. Президент России подписал еще два указа, которые помогут социализироваться и жить беженцам из ЛНР и ДНР, а также с Украины, временно переехавшим в Россию. Первым указом он разрешил им бессрочно оставаться на территории нашей страны после проведения дактилоскопирования, фотографирования и прохождения медкомиссии. А вторым – установил постоянные и единовременные выплаты социальных пособий.

Тем не менее точных масштабов миграции в Украине никто не знает. Называются цифры в 3–4 млн человек. Хотя подсчеты украинских трудовых мигрантов за рубежом ведутся, но официальные данные не могут отразить реальную картину. Большая часть таких работников трудоустраивается нелегально. Обычно они имеют не одну, а несколько работ, часто меняют место жительства и скрываются от органов охраны труда, миграционных служб и правоохранителей. Мигранты согласны жить в нечеловеческих условиях, вахтовым методом, получать меньшую зарплату, чем в официальных организациях, чтобы прокормить себя и членов своей семьи.

Идея реализовать комплексный, а вместе с тем и системный подход с обеспечением лиц, получивших статус иммигранта или вынужденного переселенца, работой в сельском хозяйстве, предоставлении возможности получить для обработки земельные участки, может быть успешно осуществлена на

основе принципов нелинейного развития. При изучении эволюции экономической теории выясняется, что развитие любой системы можно рассматривать как по линейной, так и по нелинейной модели. Примерами линейной модели являются теории индустриализации, плановой экономики, модернизации тяжелой промышленности, сельского хозяйства и др. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, принятая в 2010 г., содержащая плановые начала, тоже готовилась на основе принципов линейной модели развития. В современных условиях развития страны линейные модели развития становятся неактуальными, малоэффективными, поскольку не учитывают неустойчивость, неопределенность, нестабильность внешней экономической, социальной, политической среды. Особенно это проявляется при проведении специальной военной операции. Линейные принципы стимулирования развития сельского хозяйства тоже не всегда эффективны для экономики.

В свое время З. Бауман отмечал, что линейность связана с жесткостью социального порядка, социальных структур и форм, препятствующей их доминированию и развитию в соответствии с вызовами современности. Нелинейность же означает движение (мгновенное, легкое, «жизнерадостное»), неопределенность и непредсказуемость, гибкость и одноразовость [20, с. 87].

В настоящее время нелинейность при восстановлении маргинальных земель, по нашему мнению, можно связать с нестабильной экономической средой, развитием сетевых форм экономических отношений с использованием информационно-коммуникационных технологий, новыми способами ведения предпринимательской деятельности, конкурентными условиями, изменениями в международных экономических и политических отношениях. Для внедрения принципов нелинейного развития такого мощного, ранее нигде не реализовавшегося проекта по восстановлению маргинальных земель с участием иммигрантов, имеется хорошая, хотя и зарубежная, методологическая база, к которой относятся следующие исследования: «Нелинейная экономическая динамика» (автор Т. Пу); «Хаос и порядок на рынках капитала. «Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории» (автор В.-Б. Занг); экономические циклы – уравнение Ван дер Поля; теории равновесия в экономике (статистическая экономика); новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка» (автор Э. Петерс); динамические теории роста в экономике (авторы П. Самуэльсон, Р. Солоу, Д. Р. Хикс, М. Моришма, В. В. Леонтьев).

Линейная эволюция означает переход системы в новое качество путем постепенного накопления изменений. Соответственно, этот процесс может при-

вести не только замедлению темпов развития, но и к стагнации. Нелинейное развитие характеризуется тем, что порождает принципиально новое состояние через мгновенные изменения, исключаящие возврат к прежнему состоянию. Такую темпоральность (мгновенность) можно заметить при стремительном превращении птичьей стаи в организованный косяк. Именно такая уникальность процессов необходима для отечественного сельского хозяйства в сегодняшних экстремальных условиях. Естественно, что здесь нужно и планирование, но с ориентацией на нелинейность. Оно может рассматриваться как часть комплексного процесса, который может принимать различные формы с пониманием будущего развития. В этом случае основными видами планирования остаются стратегическое, техническое и проектное.

Стратегическое планирование (не менее чем на 5 лет) в контексте нелинейности развития, но с ориентирами на устойчивость изменений с маргинальными землями – сложнейшая задача. Вместе с тем ее решение позволяет:

- подготовить законодательную базу, проанализировать складывающуюся обстановку и сформулировать новые мероприятия;
- оценить складывающиеся группы ценностей, формы адаптации к новым условиям жизни мигрантов;
- сформулировать критерии деятельности и развития в новых условиях жизнедеятельности;
- выбрать оптимальные формы государственной поддержки.

Тактическое планирование всегда содержит конкретные мероприятия для реализации (дорожная карта). Что касается проектного планирования, то оно потребует привлечения не только законодателей, представителей государственных и муниципальных структур, специалистов пространственного развития, институтов гражданского общества, но и тех, кто принял решение о своем перемещении на постоянное место жительства. В целом, по нашему мнению, для каждого региона нужна региональная матрица стратегического планирования по введению в сельскохозяйственный оборот ранее маргинальных земель с участием лиц осуществивших пространственное перемещение.

В целях сохранения высоких темпов развития АПК и максимально качественного проведения сезонных работ Минсельхоз России ежегодно формирует предложения по привлечению иностранных рабочих, но только для сезонных полевых работ. В этом преобладают такие регионы, как Волгоградская, Астраханская и Московская области, что обусловлено значительной концентрацией овощеводческих хозяйств с применением в них ручного труда. Аналогичная ситуация сложилась и в ряде

других субъектов – например, в Воронежской и Липецкой областях. В первую очередь, как и во многих других секторах мировой экономики, сельскому хозяйству необходимы работники первичного звена – для посадки и сбора урожая, ухода за животными и другого труда. В то же время квалифицированными специалистами – агрономами, ветеринарами, механизаторами – российский АПК якобы в настоящее время обеспечен [21].

С позиций устойчивого экономического развития страны иностранная рабочая сила усиливает вывоз капиталов. Деньги, которые зарабатывают мигранты, не остаются в России и, как следствие, не способствуют пополнению бюджета. Мигранты перечисляют заработанные в нашей стране деньги в свои семьи, тем самым поддерживают экономики сопредельных и не всегда дружественных государств.

Однако фермеры заинтересованы в иностранной рабочей силе, так как недостаток ее будет способствовать росту цен на овощи и фрукты по разным прогнозам от 20 до 50 %. Логика очевидна: в себестоимости продукции доля заработной платы для своих работников всегда высока. А иностранная рабочая сила остается более привлекательной, так как мигранты готовы работать без выходных и больничных, ненормированный рабочий день и за более низкую заработную плату. И это их отличает от большинства российских соискателей. Это проблема не только нашей страны. Набор аграриев в Таджикистане открыла Дания. На мигрантах держится сельское хозяйство в Соединенных Штатах, в Германии и Южной Корее.

Эксперты в области сельского хозяйства предлагают несколько направлений, включающих в себя различные меры. Первое – это ослабление ограничений передвижения трудовых мигрантов. Второе – продление рабочих виз, чтобы те, кто уже находится в стране, могли продолжать свою трудовую деятельность. Предложений по наделению их землей на условиях аренды или на других условиях, после приобретения гражданства для постоянного пребывания в стране, в государственных программах развития сельского хозяйства пока нет. Третье направление – привлечение местных сельскохозяйственных работников, которые зачастую не расположены к сельскохозяйственному труду по причинам низкой оплаты труда.

При рассмотрении подобных рекомендаций следует понимать, что права иностранных лиц на приобретение земельных участков в России ограничены. Иностранцам и лицам без гражданства земельные участки предоставляются в собственность исключительно за плату (п. 4 ст. 39.4 Земельного Кодекса РФ). Иностранец не может приобрести землю в России на безвозмездной основе.

Также ограничение по приобретению земельных участков содержат Федеральный закон от 30.11.1995 г. № 187-ФЗ «О континентальном шельфе Российской Федерации» и Закон Российской Федерации от 21.02.1992 г. № 2395-1 «О недрах», закрепляющие порядок пользования участками континентального шельфа и недрами. Эти объекты могут предоставляться иностранцам только на праве аренды и то при условии, что они имеют право заниматься соответствующим видом деятельности.

По Конституции РФ право собственности на земельный участок имеют граждане нашей страны. Данное право имеет огромное значение, так как способствует обеспечению достойного уровня жизни граждан, качественное удовлетворение социальных и материальных продовольственную безопасность государства и стабильность общества. То есть право обладать землей является важнейшим показателем прочности конституционного строя.

Обеспечению социальной стабильности в обществе способствует фактор бесплатного предоставления земельных участков в собственность гражданам в случаях, предусмотренных статьей 39.5 Земельного Кодекса РФ: гражданам, имеющим трех и более детей; в целях развития застроенной территории; в ряде случаев по истечении пяти лет со дня предоставления гражданину земельного участка в безвозмездное пользование. Федеральными законами и законами субъектов РФ могут быть предусмотрены иные, не указанные в ЗК РФ отдельные категории граждан, которым земельные участки могут быть предоставлены в собственность бесплатно.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, правовой механизм предоставления гражданам в собственность земельных участков в целях обеспечения конституционного права граждан на землю в Российской Федерации установлен. Для реализации его органы государственной власти и местного самоуправления призваны создавать необходимые условия. В полной мере это относится и к людям, получившим гражданство Российской Федерации и попадающим под возможную государственную программу освоения маргинальных земель.

В условиях современного социально-экономического развития сельское хозяйство России демонстрирует стремление к устойчивости. Статистические данные за январь – май 2022 г. свидетельствуют о том, что объем производства продукции сельского хозяйства всех сельхозпроизводителей (сельскохозяйственные организации, крестьянские (фермерские) хозяйства, хозяйства населения) в мае 2022 г. в действующих ценах, по предварительной оценке, составил 488,1 млрд рублей, в январе – мае 2022 г. – 1778,6 млрд рублей [22].

На конец мая 2022 г. поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех сельхозпроизводителей, по расчетам, составляло 18,3 млн голов (на 2,4 % меньше по сравнению с соответствующей датой предыдущего года), из него коров – 7,8 млн (на 1,7 % меньше), свиней – 27,6 млн (на 2,3 % больше), овец и коз – 22,8 млн (на 2,1 % меньше). В структуре поголовья скота на хозяйства населения приходилось 39,9 % поголовья крупного рогатого скота, 8,1 % свиней, 44,6 % овец и коз (на конец мая 2021 г. – соответственно 40,5 %, 9,2 %, 45,6 %). Во всех сельскохозяйственных организациях в мае 2022 г. по сравнению с таким же периодом 2021 г. производство скота и птицы на убой (в живом весе) выросло на 6,7 % (в мае 2021 г. по сравнению с маем 2020 г. –

на 2,5 %), производство молока на 2,5 % (на 0,7 %), производство яиц – на 2,9 % (на 1,5 %) [22].

Ожидается неплохой урожай зерна, но запланированные 130 млн тонн могут и не собрать. Чтобы внутренний рынок не пострадал, планы на экспорт 50 млн тонн, возможно, пересмотрят в меньшую сторону. В этой связи есть вероятность, что цены на пшеницу пойдут вверх и это отразится не только на экономике, но и на геополитике. Так что можно утверждать, что сельское хозяйство остается стратегической отраслью, которая может принять большое количество иммигрантов, оно имеет перспективы развития и требует особого внимания государства.

Библиографический список

1. Кобышев К. В., Струк Н. М. Теоретические подходы к анализу новых маргинальных групп // Вестник ИрГТУ. 2014. № 2. С. 215–219.
2. Парк Р. Е. Культурный конфликт и маргинальный человек // Социальные гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 11. Социология. 1998. № 2. С. 172–175.
3. Зырянов А. И. Маргинальные территории [Электронный ресурс] // Географический вестник. 2008. № 2. С. 1–13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/marginalnye-territorii> (дата обращения: 20.05.2022).
4. Оперативные данные Госкомстата РФ за январь – октябрь 2001 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 12.07.2022).
5. World Urbanization Prospects. The 2001 Revision. Data Tables and Highlights. Population Division Department of Economic and Social Affairs United Nations Secretariat. № ESA/P/WP.173. 20 March 2002 [e-resource] // <http://www.megacities.unikoeln.de/documentation/megacity/statistic/wup2001dh.pdf> (date of reference: 13.07.2022).
6. Антонов С. Как изменилась жизнь россиян за 20 лет. Если посмотреть на статистику [Электронный ресурс]. URL: <https://journal.tinkoff.ru/2000-2018> (дата обращения: 12.07.2022).
7. Обратная сторона земли: почему в России остаются невостребованными сельхозугодья [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/oborotnaya-storona-zemli-pochemu-v-rossii-ostayutsya-nevostrebovannymi-selkhozugodya> (дата обращения: 02.06.22).
8. Калафатов Э. Я. Современное состояние ресурсной базы агропромышленного комплекса России // Московский экономический журнал. 2022. № 2. С. 250–269.
9. Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/400773886> (дата обращения: 14.07.2022).
10. Полуниин Г. А. Экономическое и правовое стимулирование сельскохозяйственного землепользования // Прикладные экономические исследования. 2016. № 2 (12). С. 4–5.
11. Липски С. А. Состояние и использование земельных ресурсов России: тенденции текущего десятилетия // Проблемы прогнозирования. 2020. № 4. С. 107–115.
12. Липски С. А. Трансформация системы государственного управления земельным фондом в постсоветской России (теория, методология, практика). Москва: ГУЗ, 2017. 316 с.
13. Иностранцы мигранты на сибирском рынке труда / Под ред. С. В. Соболевой и И. В. Октябрьского. Новосибирск, 2006. 315 с.
14. Рыбаковский Л. Л. История и теория миграции населения. Кн. 2: Миграция населения: явление, понятие, детерминанты. Москва: ЭконИнформ, 2017. 234 с.
15. Малый энциклопедический словарь. В 4 томах. Репринтное воспроизведение издания Ф. А. Брокгауза, И. А. Ефрона. Москва: Терра, 1997. 2172 с.
16. Астоянц М. В., Деточка Я. В. Проблемы маргинализации вынужденных мигрантов с Юго-Востока Украины [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemu-marginalizatsii-vynuzhdennyh-migrantov-s-yugo-vostoka-ukrainy> (дата обращения: 14.07.2022).
17. Рязанцев С. В., Скоробогатова В. Украинская миграция в приоритетах развития России // Международные процессы. 2016. Т. 14. № 1. С. 38–51.

18. Кондратюк С. Федерация профсоюзов: на Украине на одну вакансию претендуют минимум восемь безработных [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/1495414> (дата обращения: 13.05.2022).
19. Ukraine renews effort to evacuate Mariupol as food and water run out | World news | The Guardian [e-resource]. URL: <https://www.theguardian.com/world/2022/mar/11/ukraine-russia-war-mariupol-evacuation> (date of reference: 25.07.2022)
20. Бауман З. Текущая современность. Санкт-Петербург: Питер, 2008. 240 с.
21. Минсельхоз предложил расширить возможность привлечения трудовых мигрантов в российский АПК [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/minselkhoz-predlozhit-rasshirit-vozmozhnost-privlecheniya-trudovykh-migrantov-v-rossiyskiy-apk> (дата обращения 24.07.2022).
22. Росстат. Социально-экономическое положение России. Январь – сентябрь 2022 года. С. 67–71 [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50801> (дата обращения 22.05.2022).
23. Эколого-туристское развитие маргинальных территорий московского региона // Успехи современного естествознания. 2016. № 10. С. 135–139 [Электронный ресурс]. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36168#:~:text=В%20науче%20о%20земле%20маргинальные,малодоступные%2C%20частично%20замкнутые%2C%20малообжитые%2C%20малозаселенные> (дата обращения: 15.07.2022).
24. Panteleeva M. A., Klimova N. V. Research relationship of rural population and number of agricultural enterprises // Revista de Cercetare si Interventie Sociala. 2022. Vol. 76. Pp. 84–92. DOI: 10.33788/rcis.76.6.
25. Федюнина Е. Н., Оганесян Л. О. Институциональные факторы функционирования рынка сельскохозяйственных земель // Журнал экономической теории. 2019. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/institutsionalnye-factory-funksionirovaniya-rynka-selskohozyaystvennyh-zemel> (дата обращения: 17.07.2022).
26. Балашенко В. В., Савченков С. С. Сбалансированное природопользование ресурсных территорий // Журнал экономической теории. 2020. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sbalansirovannoe-prirodopolzovanie-resursnyh-territoriy> (дата обращения: 17.07.2022).
27. Сергиенко О. В. Экспресс-анализ рисков устойчивости развития сельского хозяйства: социо-эколого-экономический подход // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2022. Т. 7. № 1 (23). С. 89–97. DOI: 10.21603/2500-3372-2022-7-1-89-97.

Об авторах:

Александр Николаевич Митин¹, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой социально-гуманитарных дисциплин, ORCID 0000-0003-1788-67-36, AuthorID 646845; sov@usla.ru

Ольга Александровна Рушицкая², доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой менеджмента и экономической теории, директор института экономики, финансов и менеджмента, ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696; olgaru-arbitr@mail.ru

Борис Александрович Воронин², доктор юридических наук, профессор, директор научно-исследовательского института аграрных и экологических проблем и управления сельским хозяйством, ORCID 0000-0002-0912-78-39, AuthorID 574258; +7 912 635-19-46, voroninba@yandex.ru

Татьяна Ивановна Кружкова², кандидат исторических наук, доцент кафедры менеджмента и экономической теории, ORCID 0000-0002-9564-7928, AuthorID 697760; +7 912 206-64-22, rustale@yandex.ru

¹ Уральский государственный юридический университет имени В. Ф. Яковлева, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

On the use of marginal lands with the participation of immigrants

A. N. Mitin¹, O. A. Rushchitskaya²✉, B. A. Voronin², T. I. Kruzhkova²

¹ Ural State Law University named after V. F. Yakovlev, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

Abstract. The purpose of the work is to identify the importance of reducing marginal lands that have an internal or peripheral location in the state (district) not used for various reasons through the mechanism of state migration policy and the state program for effective involvement in the turnover of agricultural land. **Methods.** The methods

of system analysis, comparative analysis, structural analysis, systematization, generalization, analogy, comparison of domestic and foreign experience, assessment of the legal framework are used. **Results.** The conceptual aspects of marginality and processes of marginalization in society, the behavior of a marginal person focused on ending the conflict or giving the conflict a different meaning are analyzed. It is proposed to consider marginal territories located on the remote periphery of the region or in internal isolated places, lagging behind in development relative to the entire region, lands that were previously agricultural lands. It has been substantiated that when considering this problem from the standpoint of the economy, the concentration of the rural population on less favorable or marginal agricultural lands is a barometer of the development of the economy as a whole. The dependence of attracting labor to the agrarian sphere of the economy on depopulation and low birth rate in the country is revealed. The idea of revising the Concept of Demographic Development in Russia which would comprehensively take into account the conceptual aspects of the new migration policy, the targeted development of marginal lands including with a wider involvement of migrants and immigrants in the context of the development of rural areas is proposed. Based on official data it has been confirmed that unused agricultural land in Russia accounts for 11.8 % of the total area of such land. 16.5 % of agricultural land and 16.6 % of arable land are not used. Proposals have been formulated regarding the improvement of domestic legislation to create the necessary conditions for attracting immigrants from Ukraine and other states to agriculture. The results of long-term studies of scientists who noted that migration ties between Ukraine and Russia have always been dense due to geographical and ethno-cultural proximity are confirmed. The argument about the adoption of a special state program for the development of marginal lands with the wide involvement of migrants is supported by data on the current state and the need for further sustainable development of Agriculture in Russia. **The scientific novelty** lies in the study of the special relevance of involving marginal lands in the turnover with their provision to persons who have expressed a desire to obtain Russian citizenship and then on an ongoing basis to develop the allocated resources in the agrarian sphere of the economy. **Keywords:** agrarian sphere of economy, marginalization in society, marginal lands, spatial displacement, migration, migrants, immigrants, state program for the development of marginal lands.

For citation: Mitin A. N., Rushchitskaya O. A., Voronin B. A., Kruzhkova T. I. K voprosu ispol'zovaniya marginal'nykh zemel' s uchastiem immigrantov [On the use of marginal lands with the participation of immigrants] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 73–85. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-73-85. (In Russian.)

Date of paper submission: 28.08.2022, **date of review:** 24.09.2022, **date of acceptance:** 06.10.2022.

References

1. Konyshov K. V., Struk N. M. Teoreticheskiye podkhody k analizu novykh marginal'nykh grupp [Theoretical approaches to new marginal groups analysis] // Vestnik IrGTU. 2014. No. 2. Pp. 215–219. (In Russian.)
2. Park R. E. Kul'turnyy konflikt i marginal'nyy chelovek [Cultural conflict and the marginal man] // Social Sciences and Humanities. Domestic and Foreign Literature. Series 11: Sociology. 1998. No. 2. Pp. 172–175. (In Russian.)
3. Zyryanov A. I. Marginal'nye territorii [Marginal territories] [e-resource] // Geographical bulletin. 2008. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/marginalnye-territorii> (date of reference: 20.05.2022). (In Russian.)
4. Operativnyye dannyye Goskomstata RF za yanvar' – oktyabr' 2001 goda [Operational data of the State Statistics Committee of the Russian Federation for January – October 2001] [e-resource]. URL: <http://www.gks.ru> (date of reference: 12.07.2022). (In Russian.)
5. World Urbanization Prospects. The 2001 Revision. Data Tables and Highlights. Population Division Department of Economic and Social Affairs United Nations Secretariat. №ESA/P/WP.173. 20 March 2002. P. 29 [e-resource] // <http://www.megacities.unikoeln.de/documentation/megacity/statistic/wup2001dh.pdf> (date of reference: 13.07.2022).
6. Antonov S. Kak izmenilas' zhizn' rossiyan za 20 let. Yesli posmotret' na statistiku [How the life of Russians has changed in 20 years. If you look at the statistics]. URL: <https://journal.tinkoff.ru/2000-2018> (date of reference: 12.07.2022). (In Russian.)
7. Oborotnaya storona zemli: pochemu v Rossii ostayutsya nevestrebovannymi sel'khozugod'ya [The flip side of the earth: why farmland remains unclaimed in sel'khozugod'ya] [The reverse side of the earth: why farmland remains unclaimed in Russia]. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/oborotnaya-storona-zemli-pochemu-v-rossii-ostayutsya-nevestrebovannymi-selkhozugodya/> (date of reference: 2.06.22). (In Russian.)
8. Kalafatov E. Ya. Sovremennoye sostoyaniye resursnoy bazy agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Current state of the resource base of agro-industrial complex of Russia] // Moscow economic journal. 2022. No. 2. Pp. 250–269. (In Russian.)

9. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 14 maya 2021 g. N 731 "O Gosudarstvennoy programme effektivnogo вовлечeniya v oborot zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya i razvitiya meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii" (s izmeneniyami i dopolneniyami). URL: <https://base.garant.ru/400773886> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)
10. Polunin G. A. Ekonomicheskoye i pravovoye stimulirovaniye sel'skokhozyaystvennogo zemlepol'zovaniya [Economic and legal incentives for agricultural land use] // Prikladnyye ekonomicheskiye issledovaniya. 2016. No. 2 (12). Pp. 4–5. (In Russian.)
11. Lipski S. A. Sostoyaniye i ispol'zovaniye zemel'nykh resursov Rossii: tendentsii tekushchego desyatiletiya [State and use of land resources in Russia: trends of the current decade] // Problemy prognozirovaniya. 2020. No. 4. Pp. 107–115. (In Russian.)
12. Lipski S. A. Transformatsiya sistemy gosudarstvennogo upravleniya zemel'nyim fondom v postsovetskoy Rossii (teoriya, metodologiya, praktika) [Transformation of the State Land Fund Management System in Post-Soviet Russia]. Moscow: GUZ, 2017. 316 p. (In Russian.)
13. Inostrannyye migranty na sibirskom rynke truda [Foreign migrants on the siberian labour market human recourses of the immigration] / Under the editorship of S. V. Soboleva and I. V. Oktyabr'skiy. Novosibirsk, 2006. 315 p. (In Russian.)
14. Rybakovskiy L. L. Istoriya i teoriya migratsii naseleniya. Kn. 2: Migratsiya naseleniya: yavleniye, ponyatiye, determinanty [History and theory of population migration. Book 2: Population migration: phenomenon, concept, determinants]. Moscow: EkonInform, 2017. 234 p. (In Russian.)
15. Malyy entsiklopedicheskiy slovar'. V 4 tomakh. Reprintnoye vosproizvedeniye izdaniya F. A. Brokgauza, I. A. Yefrona. [Small Encyclopedic dictionary. In 4 volumes. Reprint reproduction of the edition of F. A. Brockhaus, I. A. Efron]. Moscow: Terra, 1997. 2172 p. (In Russian.)
16. Astoyants M. V., Detochka Ya. V. Problemy marginalizatsii vynuždennykh migrantov s Yugo-Vostoka Ukrainy [The marginalization of forced migrants from the south-east of Ukraine] [e-resource] // Engineering journal of Don. 2015. No. № 2-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-marginalizatsii-vynuždennykh-migrantov-s-yugo-vostoka-ukrainy> (date of reference: 25.07.2022). (In Russian.)
17. Ryazantsev S. V., Skorobogatova V. Ukrainskaya migratsiya v prioritetakh razvitiya Rossii [Ukrainian migration and Russia's development priorities] // International trends. 2016. Vol. 14. No. 1. Pp. 38–51. (In Russian.)
18. Kondratyuk S. Federatsiya profsoyuzov: na Ukraine na odnu vakansiyu pretenduyut minimum vosem' bezrabotnykh [Federation of Trade Unions: at least eight unemployed people apply for one vacancy in Ukraine] [e-resource]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/1495414> (date of reference: 13.05.2022). (In Russian.)
19. Ukraine renews effort to evacuate Mariupol as food and water run out [e-resource]. URL: <https://www.theguardian.com/world/2022/mar/11/ukraine-russia-war-mariupol-evacuation> (date of reference: 25.07.2022) (In Russian.)
20. Bauman Z. Tekushchaya sovremennost' [Fluid modernity]. Saint Petersburg: Piter, 2008. 240 p. (In Russian.)
21. Minsel'khoz predlozhit rasshirit' vozmozhnost' privlecheniya trudovykh migrantov v rossiyskiy APK [The Ministry of Agriculture proposed to expand the possibility of attracting migrant workers to the Russian agro-industrial complex] [e-resource]. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/minselkhoz-predlozhit-rasshirit-vozmozhnost-privlecheniya-trudovykh-migrantov-v-rossiyskiy-apk> (date of reference: 24.07.2022). (In Russian.)
22. Rosstat. Sotsial'no-ekonomicheskoye polozheniye Rossii. Yanvar' – sentyabr' 2022 goda [Rosstat. Socio-economic situation of Russia. January – September 2022] [e-resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50801> (date of reference: 22.05.2022). (In Russian.)
23. Ekologo-turistskoye razvitiye marginal'nykh territoriy moskovskogo regiona [Ecological and tourist development of marginal territories of the Moscow region] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. No. 10. Pp. 135–139. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36168> (date of reference: 15.07.2022). (In Russian.)
24. Panteleeva M. A., Klimova N. V. Research relationship of rural population and number of agricultural enterprises // Revista de Cercetare si Interventie Sociala. 2022. Vol. 76. Pp. 84–92. DOI: 10.33788/rcis.76.6.
25. Fedyunina E. N., Oganessian L. O. Institutsional'nyye faktory funktsionirovaniya rynka sel'kokhozyaystvennykh zemel' [Institutional Factors in the Functioning of the Agricultural Land Market] [e-resource] // Zhurnal ekonomicheskoy teorii. 2020. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sbalansirovannoe-prirodopolzovanie-resursnyh-territoriy> (date of reference: 17.07.2022). (In Russian.)
26. Balashenko V. V., Savchenkov S. S. Sbalansirovannoye prirodopol'zovaniye resursnykh territoriy [Balanced nature management of resource territories] [e-resource] // The Russian Journal of Economic Theory. 2020. No 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sbalansirovannoe-prirodopolzovanie-resursnyh-territoriy> (date of reference: 17.07.2022). (In Russian.)

27. Sergiyenko O. V. Ekspress-analiz riskov ustoychivosti razvitiya sel'skogo khozyaystva: sotsio-ekologo-ekonomicheskii podkhod [Rapid analysis of the risks of sustainable development of agriculture: socio-ecological and economic approach] // Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences. 2022. T. 7. No. 1 (23). Pp. 89–97. (In Russian.)

Authors' information:

Aleksandr N. Mitin¹, doctor of economics, professor, head of the department of social and humanitarian disciplines, ORCID 0000-0003-1788-67-36, AuthorID 646845; *sov@usla.ru*

Olga A. Rushchitskaya², doctor of economics, associate professor, head of the department of management and economic theory, director of the institute of economics, finance and management, ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696; *olgaru-arbitr@mail.ru*

Boris A. Voronin², doctor of law, professor, director of the research institute of agrarian and environmental problems and agricultural management, ORCID 0000-0002-0912-7839, AuthorID 574258; +7 912 635-19-46, *voroninba@yandex.ru*

Tatyana I. Kruzhkova², candidate of historical sciences, associate professor of the department of management and economic theory, ORCID 0000-0002-9564-7928, AuthorID 697760; +7 912 206-64-22, *rustale@yandex.ru*

¹Ural State Law University named after V. F. Yakovlev, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Экономическая эффективность использования материальных ресурсов в растениеводстве

Н. В. Степных¹✉, С. А. Копылова¹, Е. В. Нестерова¹

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: nickolai.stepnyh@yandex.ru

Аннотация. Диспаритет цен между средствами производства и продукцией растениеводства ведет к снижению эффективности использования ресурсов. Для стабилизации работы сельхозпредприятий в таких условиях, кроме необходимой государственной поддержки, в растениеводстве важно находить внутренние резервы. **Цель** настоящего исследования – изучить состояние и возможности повышения эффективности использования ресурсов в растениеводстве. **Задачами** исследования стал анализ данных, отражающих варианты экономии ресурсов при возделывании полевых культур в условиях Курганской области. Использованы **методы** монографического, математического, статистического анализа данных из литературных источников, годовых отчетов сельхозпредприятий Курганской области, результатов исследований Курганского НИИСХ. **Научная новизна** работы заключается в применении динамического метода расчета экономической эффективности ранее испытанных технологий в различных изменяющихся во времени экономических условиях, что позволяет более обоснованно строить перспективные планы. Установлено, что факторами повышения эффективности использования природных и материальных ресурсов являются диверсификация посевных площадей за счет увеличения доли озимых, зернобобовых и масличных культур и повышение точности применения ресурсов с помощью цифровых методов. **Результаты исследования** показали, что диверсификация посевных площадей позволяет эффективнее распределять полевые работы, экономить ресурсы и получать более высокие доходы, стабилизировать финансовое состояние сельскохозяйственных предприятий. Системы параллельного вождения и мониторинг техники позволяют экономить горючее, удобрения, семена, средства защиты растений. Работа техники с помощью навигационного оборудования в темное время суток обеспечивает выполнение технологических операций в нормативные сроки и тем самым способствует повысить урожайность культур на 5–10 %. Дополнительный доход от системы параллельного вождения составляет в среднем 2155 руб/га. Проектирование технологий на основе электронных карт и книг истории полей дает возможность дифференцировать ресурсы по полям в соответствии с почвенными, агрохимическими и агротехническими условиями.

Ключевые слова: цены, диспаритет цен, стоимость ресурсов, ресурсосбережение, экономическая эффективность, цифровые методы управления, диверсификация посевных площадей, электронная книга истории полей.

Для цитирования: Степных Н. В., Копылова С. А., Нестерова Е. В. Экономическая эффективность использования ресурсов в растениеводстве // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12 (227). С. 86–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-86-98.

Дата поступления статьи: 08.09.2022, **дата рецензирования:** 20.09.2022, **дата принятия:** 13.10.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Эффективность сельскохозяйственного производства в первую очередь определяется соотношением дохода от реализации производимой продукции и необходимых для ее получения затрат на ресурсы. В связи с этим одной из основных причин кризисного состояния АПК оказался сложившийся диспаритет цен на продукцию и ресурсы как при сравнении с промышленными товарами, так и внутри самой отрасли. Диспаритет цен ведет к существенному снижению экономической эффектив-

ности использования средств производства. Кроме обеспечения необходимой, но пока недостаточной государственной поддержки, выходом из этой ситуации для аграриев является повышение эффективности использования материальных ресурсов за счет внутренних резервов. Наиболее актуальными направлениями для современного земледелия становятся дифференцированное применение ресурсов, особенно средств химизации, а также диверсификация посевных площадей озимыми, зернобобовыми и масличными культурами, которые благода-

ря оптимизации и рационализации полевых работ позволяют экономить трудовые и технические ресурсы и повысить доходы. [1, с. 326]. Рыночный механизм относительных цен во всем мире подталкивает к замещению относительно дорогих ресурсов и технологий более экономичными [2, с. 133].

Повышение эффективности использования ресурсов предполагает их более точное использование за счет цифровых методов управления растениеводством, к которым относятся электронные карта и история полей, спутниковый мониторинг техники и технологий, система параллельного вождения и другие. Реализация цифровых методов управления совместно с применением комплексного подхода способствует снижению затрат практически на 23 % [3, с. 84].

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования выполнены в лаборатории экономики и инновационного развития Курганского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме «Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, интегрированной защиты растений, биологизации, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ и баз данных, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия». Использованы методы монографического, математического, статистического анализа. Для анализа экономической эффективности растениеводства использованы данные Департамента АПК Курганской области из годовых и оперативных отчетов работы сельхозпредприятий и Курганского НИИСХ.

Экономическая оценка технологий выращивания сельскохозяйственных культур проведена с помощью соответствующего web-приложения, разработанного авторами в 2020 году. Новизна настоящей работы заключается в создании и применении «Базы данных нормативных параметров для экономической оценки технологий выращивания сельскохозяйственных культур в 2022 году», зарегистрированной в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство № 2022621906 от 02.08.2022 г.). Кроме того, в работе применен динамический метод расчета экономической эффективности ранее испытанных технологий в различных изменяющихся во времени экономических условиях, что позволяет более обоснованно строить перспективные планы.

Результаты (Results)

Анализ динамики цен по Российской Федерации, проведенный нами по данным Росстата за

2007–2022 гг., показал, что для приобретения единицы основных ресурсов растениеводства растет потребность в реализации продукции. Динамика эквивалента обмена зерна пшеницы на промышленные товары в 2022 г. по сравнению с 2007 г. показывает, что опережающими темпами росли цены на тракторы и гербициды, для их приобретения потребность в зерне пшеницы увеличилась в 2,4 раза, фосфорные удобрения – 2,3 раза. Несколько ниже был темп опережения по азотным удобрениям и инсектицидам – 2,1, зерноуборочным комбайнам – 1,9. Меньше росли цены по дизельному топливу – 1,4, по электроэнергии – 1,3, по фунгицидам – 1,1 (рис. 1).

По расчетам И. Н. Шаркова, с учетом эффективности удобрений в Западной Сибири для приобретения 1 кг азотных или фосфорных удобрений сельхозпредприятие должно продать 6–7 кг зерна, а получит от удобрений столько же или даже меньше. Чтобы хозяйства активнее переходили на интенсивные технологии, цена 1 кг азота или фосфора не должна превышать стоимости реализации 3 кг зерна [4, с. 15].

Снижение экономической эффективности при повышении интенсификации технологий выявлено и в научных исследованиях в условиях Зауралья. Для оценки эффективности интенсивных технологий в современных условиях нами был проведен экономический анализ вариантов с разными способами обработки почвы в сочетании со средствами химизации, проведенных в Курганском НИИСХ в 2007–2013 гг., по ценам 2007 и 2022 гг.

В зернопаровом севообороте изучались вспашка, сочетание чередования вспашки и без обработки (нулевая), мульчирующая минимальная, а также два варианта без обработки с комбинированным и химическим паром. В комбинированном пару применялись одна гербицидная и две механических обработки, в химическом – две обработки гербицидами [5, с. 3].

Без применения средств химизации урожайность яровой пшеницы была выше на вариантах с глубокой обработкой почвы (вспашкой и сочетанием вспашки с нулевой (без обработки)) – 15,5–16,4 против 13,4–15,3 ц/га на вариантах с мелкой обработкой почвы. При использовании гербицидов и удобрений урожайность по всем вариантам повысилась, выровнялась и составила от 17,7 до 19,0 ц/га (таблица 1). Основным показателем экономической эффективности – рентабельность – в ценах 2007 г. при применении средств химизации, несмотря на рост урожайности на вариантах с глубокой обработкой почвы, снизился: на вспашке – с 43 до 2,0 %, на варианте с комбинированным паром – с 55 до 15 %, на варианте сочетания вспашки с нулевой – со 68 до 1,0 %.

В 2022 г. наибольшая рентабельность получена в варианте сочетания вспашки с нулевой обработкой (без химии – 49 %, с удобрениями без гербицидов – 36 %). Вариант без обработки с применением комбинированного пара по рентабельности незначительно уступал предыдущему (без химии – 35 %, с удобрениями без гербицидов – 31 %), но превосходил все другие (таблица 1).

В 2022 г. по сравнению с 2007 г. цены на удобрения и гербициды росли быстрее, чем на дизельное топливо (рис. 1), соответственно, больше выросла рентабельность технологий без применения химии.

Следует учитывать, что при применении глубоких обработок почвы снижается производительность труда, увеличивается потребность техники и механизаторов. Основная обработка почвы на Урале и Сибири по времени совпадает с уборкой зерно-

вых культур, на которую переключаются практически все работники. В связи с этим, несмотря на опережающий по сравнению с топливом рост затрат на гербициды, для экономии трудовых и технических ресурсов технологии с применением комбинированного пара остается наиболее предпочтительной.

Снижение экономической эффективности использования ресурсов при увеличении затрат на единицу площади подтверждается данными производственных результатов. Проведенная нами группировка сельскохозяйственных организаций Курганской области по уровню затрат на выращивание пшеницы за 2017–2021 гг. показала, что при увеличении затрат на производство урожайность растет, но в меньшей степени, чем затраты, одновременно повышается себестоимость зерна и снижается рентабельность. В 2017 г. в первой группе

Таблица 1

Экономическая эффективность способов обработки почвы, испытанных в Курганском НИИСХ в 2007–2013 гг., по ценам 2007 и 2022 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га	Затраты, руб/га		Себестоимость, руб/ц		Прибыль, руб/га		Рентабельность, %	
		2007	2022	2007	2022	2007	2022	2007	2022
Без гербицидов, без удобрений									
Вспашка	15,5	3 542	10 342	286	839	1 508	2 927	43	28
Мульчирующая минимальная	13,4	3 116	9 396	292	885	1 273	2 151	41	23
Комбинированный пар	15,3	3 204	9 693	262	798	1 777	3 396	55	35
Химический пар	13,8	3 500	10 682	317	973	1 012	1 180	29	11
Чередование вспашки с нулевой	16,4	3 227	9 553	245	730	2 180	4 673	68	49
Без гербицидов, с удобрениями									
Вспашка	18,1	4 370	12 525	302	869	1 486	2 844	34	23
Мульчирующая минимальная	16,1	3 994	11 392	310	889	1 228	2 318	31	20
Комбинированный пар	18,1	4 057	11 783	279	813	1 844	3 709	45	31
Химический пар	17,9	4 353	12 771	304	897	1 449	2 463	33	19
Чередование вспашки с нулевой	18,5	4 080	11 643	276	792	1 952	4 212	48	36
С гербицидами, без удобрений									
Вспашка	16	4 936	13 225	384	1034	330	626	7	5
Мульчирующая минимальная	13,6	4 509	12 278	409	1119	9	-395	0	-3
Комбинированный пар	15	4 599	12 576	376	1032	441	690	10	5
Химический пар	14	4 893	13 564	426	1186	-183	-1 174	-4	-9
Чередование вспашки с нулевой	16	4 620	12 436	351	949	805	1 844	17	15
С гербицидами, с удобрениями									
Вспашка	18,2	5 789	15 314	399	1059	141	274	2	2
Мульчирующая минимальная	17,1	5 362	14 367	387	1042	253	378	5	3
Комбинированный пар	19	5 427	14 758	353	965	828	1 676	15	11
Химический пар	18,8	5 721	15 747	373	1030	525	663	9	4
Чередование вспашки с нулевой	18,8	6 264	14 618	406	952	59	2 014	1	14

Table 1

Economic efficiency of tillage methods tested in Kurgan Research Institute in 2007 and 2022

Option	Yield, c/ha	Costs, rub/ha		Cost price, rub/c		Profit, rub/ha		Profitability, %	
		2007	2022	2007	2022	2007	2022	2007	2022
<i>Without herbicides, without fertilizers</i>									
Plowing	15.5	3 542	10 342	286	839	1 508	2 927	43	28
Mulching minimum	13.4	3 116	9 396	292	885	1 273	2 151	41	23
Combined steam	15.3	3 204	9 693	262	798	1 777	3 396	55	35
Chemical steam	13.8	3 500	10 682	317	973	1 012	1 180	29	11
Alternating plowing with zero	16.4	3 227	9 553	245	730	2 180	4 673	68	49
<i>Without herbicides, with fertilizers</i>									
Plowing	18.1	4 370	12 525	302	869	1 486	2 844	34	23
Mulching minimum	16.1	3 994	11 392	310	889	1 228	2 318	31	20
Combined steam	18.1	4 057	11 783	279	813	1 844	3 709	45	31
Chemical steam	17.9	4 353	12 771	304	897	1 449	2 463	33	19
Alternating plowing with zero	18.5	4 080	11 643	276	792	1 952	4 212	48	36
<i>With herbicides, without fertilizers</i>									
Plowing	16	4 936	13 225	384	1034	330	626	7	5
Mulching minimum	13.6	4 509	12 278	409	1119	9	-395	0	-3
Combined steam	15	4 599	12 576	376	1032	441	690	10	5
Chemical steam	14	4 893	13 564	426	1186	-183	-1 174	-4	-9
Alternating plowing with zero	16	4 620	12 436	351	949	805	1 844	17	15
<i>With herbicides, with fertilizers</i>									
Plowing	18.2	5 789	15 314	399	1059	141	274	2	2
Mulching minimum	17.1	5 362	14 367	387	1042	253	378	5	3
Combined steam	19	5 427	14 758	353	965	828	1 676	15	11
Chemical steam	18,8	5 721	15 747	373	1030	525	663	9	4
Alternating plowing with zero	18,8	6 264	14 618	406	952	59	2 014	1	14

затраты на 1 га посева пшеницы в среднем составили 4 756 рублей, урожайность – 12,0 ц/га, себестоимость – 397 руб/ц, рентабельность – 132 %. Цена реализации (в среднем 666 рублей за 1 ц зерна) позволила даже при такой низкой урожайности получить высокую рентабельность (таблица 2).

В четвертой группе затраты оказались выше в 3 раза (14 041 руб/га), при этом урожайность повысилась до 28,5 ц/га, или в 2,4 раза, это рост меньше, чем у затрат. Отставание роста урожайности пшеницы от уровня затрат привело к повышению себестоимости зерна (492 против 397 руб/ц) и снижению рентабельности (со 132 до 110 %). В последующие годы закономерность сохранилась: с увеличением затрат повышается урожайность, но меньше, чем затраты, что влечет за собой рост себестоимости и снижение рентабельности.

Особенно провальными оказываются засушливые годы, когда вложение дополнительных ресурсов интенсификации не дает существенной прибавки урожайности. В Курганской области такими были 2020 и 2021 гг.: при увеличении затрат на 1 га посева, в отличие от предыдущих лет, снижалась не только рентабельность производства, но и прибыль. В 2020 г. при росте затрат в четвертой группе по отношению к первой в 2,9 раза урожайность в

четвертой повысилась в 1,9 раза, себестоимость – в 1,5 раза, а прибыль и рентабельность составили соответственно 70 и 30 % к уровню первой группы. Аналогичная ситуация сложилась и 2021 г.: при росте затрат в четвертой группе по сравнению с первой в 3,1 раза урожайность в ней повысилась в 2,3 раза, себестоимость возросла в 1,4 раза, а прибыль и рентабельность упали до 80 и 30 % к уровню первой (таблица 2).

Очевидно, что в условиях диспаритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию помощь сельхозтоваропроизводителям должно оказывать государство. Вместе с тем в сельском хозяйстве есть внутренние резервы по повышению экономической эффективности использования ресурсов. Выше была отмечена высокая экономическая эффективность технологии возделывания пшеницы в зернопаровом севообороте без обработки почвы с применением удобрений и комбинированного пара, в котором используются гербициды. Это очень упрощенный вариант эффективной технологии. Реально эффективность зависит от множества факторов: природных условий производства, структуры посевных площадей, сортового состава, от точности применения ресурсов и других.

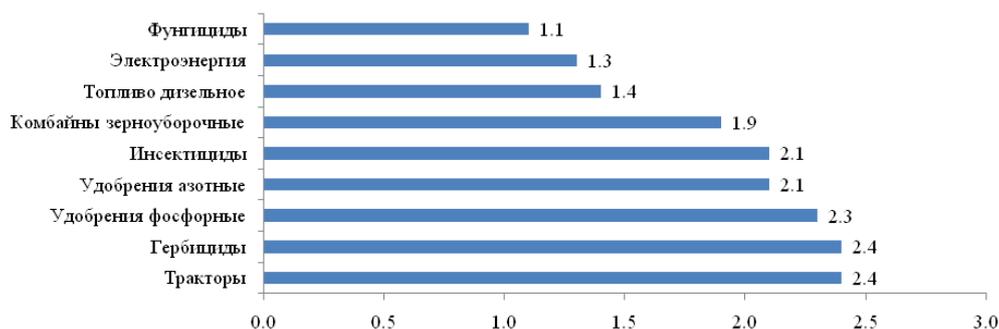


Рис. 1. Рост потребности пшеницы для приобретения единицы ресурса в 2022 г. по сравнению с 2007 г. в Курганской области, раз (рассчитано авторами на основе данных Росстата¹)

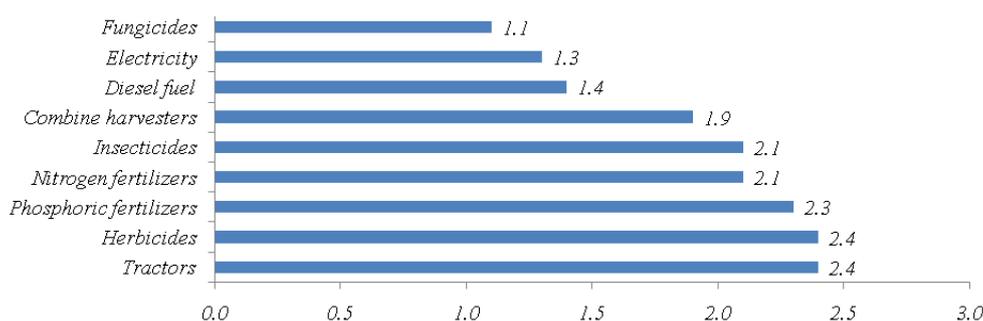


Fig. 1. The growth of wheat demand for purchasing a unit of resource in 2022 compared to 2007 in the Kurgan region, once (calculated by the authors based on the data of Rosstat)

Экономическая эффективность производства пшеницы в сельскохозяйственных организациях Курганской области*, 2017–2021 гг.

Таблица 2

Группа предприятий	Число хозяйств в группе	Затраты, руб/га	Площадь посева пшеницы, га	Урожайность, ц/га	Себестоимость, руб/ц	Стоимость зерна, руб/га	Прибыль, руб/га	Рентабельность, %
2017 год								
1	46	4 756	1 707	12,0	397	7 994	6 287	132
2	46	6 959	2 378	17,1	407	11 428	9 050	130
3	46	9 312	2 628	21,0	442	14 059	11 431	123
4	47	14 041	3 590	28,5	492	19 054	15 464	110
В среднем	185	9 695	2 581	21,3	455	14 224	11 643	120
2018 год								
1	42	4 793	1 901	9,6	498	7 736	2 943	61
2	42	7 365	1 738	13,5	544	10 879	3 515	48
3	43	9 481	2 261	15,5	613	12 425	2 944	31
4	43	14 911	3 956	23,4	638	18 773	3 863	26
В среднем	170	10 630	2 472	17,6	605	14 133	3 503	33
2019 год								
1	37	5 418	1 829	12,3	442	12 615	7 196	132,8
2	37	8 800	2 695	15,2	579	15 624	6 823	77,5
3	37	11 319	2 188	17,4	651	17 884	6 565	58,0
4	38	17 419	4 741	25,6	681	26 310	8 891	51,0
В среднем	149	12 366	2 876	19,5	634	20 068	7 703	62,3
2020 год								
1	38	6 356	1 831	9,0	705	10 578	4 223	66,4
2	38	9 137	2 901	11,3	809	13 999	4 862	53,2
3	38	12 047	2 436	14,2	849	16 668	4 621	38,4
4	37	18 128	4 011	16,8	1078	21 267	3 140	17,3
В среднем	151	12 542	2 813	13,5	927	16 653	4 111	32,8
2021 год								
1	31	6 178	2 194	6,2	998	8 794	2 616	42,4
2	31	8 227	4 986	7,6	1 082	11 761	3 534	43,0
3	31	13 124	2 906	10,3	1 280	15 551	2 427	18,5
4	30	19 216	3 214	14,2	1 350	21 412	2 196	11,4
В среднем	123	11 614	2 924	9,6	1 216	14 427	2 813	24,2

* Рассчитано авторами на основе годовых производственных отчетов².

¹ Цены в России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/folder/210/document/13239> (дата обращения 10.03.2023).

² Отчеты о производстве, затратах, себестоимости и реализации продукции растениеводства за 2017–2021 гг. в сельскохозяйственных организациях Курганской области, форма № 9-апк.

Table 2

Economic efficiency of wheat production in agricultural organizations of the Kurgan region, 2017–2021*

Group of Enterprises	Number of farms in the group	Costs, rub/ha	Wheat sowing area, ha	Yield, c/ha	Cost price, rub/c	The cost of grain, rub/ha	Profit, rub/ha	Profitability, %
2017 year								
1	46	4 756	1 707	12.0	397	7 994	6 287	132
2	46	6 959	2 378	17.1	407	11 428	9 050	130
3	46	9 312	2 628	21.0	442	14 059	11 431	123
4	47	14 041	3 590	28.5	492	19 054	15 464	110
<i>On average</i>	185	9 695	2 581	21.3	455	14 224	11 643	120
2018 year								
1	42	4 793	1 901	9.6	498	7 736	2 943	61
2	42	7 365	1 738	13.5	544	10 879	3 515	48
3	43	9 481	2 261	15.5	613	12 425	2 944	31
4	43	14 911	3 956	23.4	638	18 773	3 863	26
<i>On average</i>	170	10 630	2 472	17.6	605	14 133	3 503	33
2019 year								
1	37	5 418	1 829	12.3	442	12 615	7 196	132.8
2	37	8 800	2 695	15.2	579	15 624	6 823	77.5
3	37	11 319	2 188	17.4	651	17 884	6 565	58.0
4	38	17 419	4 741	25.6	681	26 310	8 891	51.0
<i>On average</i>	149	12 366	2 876	19.5	634	20 068	7 703	62.3
2020 year								
1	38	6 356	1 831	9.0	705	10 578	4 223	66.4
2	38	9 137	2 901	11.3	809	13 999	4 862	53.2
3	38	12 047	2 436	14.2	849	16 668	4 621	38.4
4	37	18 128	4 011	16.8	1078	21 267	3 140	17.3
<i>On average</i>	151	12 542	2 813	13.5	927	16 653	4 111	32.8
2021 year								
1	31	6 178	2 194	6.2	998	8 794	2 616	42.4
2	31	8 227	4 986	7.6	1 082	11 761	3 534	43.0
3	31	13 124	2 906	10.3	1 280	15 551	2 427	18.5
4	30	19 216	3 214	14.2	1 350	21 412	2 196	11.4
<i>On average</i>	123	11 614	2 924	9.6	1 216	14 427	2 813	24.2

* Calculated by the authors on the basis of annual production reports.

На наш взгляд, в современных условиях ведения растениеводства наиболее значимым фактором является адекватность технологий и структуры посевных площадей складывающимся природным и экономическим условиям производства. Основным методом достижения адекватности технологий служит дифференцированное и точное применение средств производства с помощью цифровых технологий управления агротехнологиями. По мнению экспертов, от применения цифровизации в АПК за счет сокращения затрат на производство продукции эффективность может быть повышена на 32 %. При этом рост урожайности сельхозкультур может составить от 10–20 до 30 % и выше [6, с. 24; 7, с. 952; 8, с. 55].

На начальном этапе в растениеводстве применяются наиболее простые методы цифровизации, в частности, **система параллельного вождения**, особенно при обработке полей средствами химизации. Чтобы избежать пропусков, механизатор старается проходить опрыскивателем соседние ряды

с перекрытием. Без применения системы участки с перекрытием составляют от 5 до 15 % и даже до 20 % площади [7, с. 951]. Это ведет к снижению производительности агрегата и перерасходу ресурсов. Применение системы параллельного вождения позволяет снизить затраты на средства химизации до 10 % [9, с. 283].

Имеет значение и то, что перекрытия усугубляют фитотоксичность пестицидов. Так, исследования тюменских ученых показали, что после применения гербицидов в перекрытии (то есть с двойной дозой) в зерне пшеницы повышалось содержание остаточного пестицида, а масса снопа в перекрытии была меньше на 5–10 % [10, с. 289].

В совокупности с помощью системы параллельного вождения за счет экономии ресурсов (удобрений, средств защиты растений, семян, горючего, времени), а также повышения урожайности, согласно теоретическим расчетам, можно получить дополнительный доход на сумму 2 806 руб/га (таблица 3).

Таблица 3

Экономическая эффективность системы параллельного вождения, руб/га

Ресурс	Технологические операции				
	Посев	Обработка посевов гербицидами	Обработка посевов фунгицидами	Обработка почвы	По всем операциям
Снижение расхода:					
семян	91,8	–	–	–	91,8
удобрений	75,0	–	–	–	75,0
горючего	9,5	13,5	6,75	9,5	32,5
пестицида	–	52,5	30	–	52,5
воды	–	20	22	–	20,0
заработной платы	6,0	25	12,5	6	37,0
Повышение урожайности:					
за счет исключения перекрытия обработки посевов гербицидами	–	725	–	–	725,0
за счет своевременного выполнения работ	643,0	391	667	–	1034,0
Итого	825,3	1227,0	738,3	15,5	2806,0

* Рассчитано авторами на основе собственных экспертных исследований.

Table 3

Economic efficiency of the parallel driving system, rub/ha

Resource	Technological operations				
	Sowing	Treatment of crops with herbicides	Treatment of crops with fungicides	Soil treatment	For all operations
Reduced consumption:					
seeds	91.8	–	–	–	91.8
fertilizers	75.0	–	–	–	75.0
fuel	9.5	13.5	6.75	9.5	32.5
pesticide	–	52.5	30	–	52.5
water	–	20	22	–	20.0
wages	6.0	25	12.5	6	37.0
Increasing yields:					
by eliminating the overlap of crop treatment with herbicides	–	725	–	–	725.0
due to the timely execution of works	643.0	391	667	–	1034.0
Total	825.3	1227.0	738.3	15.5	2806.0

* Calculated by the authors based on their own expert research.

Следующим направлением цифрового метода управления агротехнологиями является дистанционный мониторинг техники и технологий (времени выполнения работ, простоев, контроль скорости движения). В Курганском НИИСХ разработана и внедрена программа «Агромонитор», которая нашла применение в ряде крупных хозяйств Курганской области. Экономия горючего (254 руб/га) с помощью дистанционного контроля подтверждается данными годовых отчетов в сельхозпредприятиях, применяющих навигационное оборудование³.

³ Отчеты о производстве, затратах, себестоимости и реализации продукции растениеводства за 2017–2021 гг. в сельхозорганизациях Курганской области, форма № 9-апк.

Еще одним цифровым методом экономии ресурсов является дифференцированное внесение удобрений. В опытах Д. В. Чикишева на выщелоченном черноземе северной лесостепи Тюменской области с низкой и средней обеспеченностью N-NO₃, P₂O₅, K₂O на вариантах с дифференцированным внесением минеральных удобрений при урожайности зерна яровой пшеницы 3,47–3,54 т/га его себестоимость составила 7495–7684 руб/т, прибыль – 8 199–8 692 руб/га. Рентабельность производства была на 14 % выше, чем при традиционном внесении. Автором также установлено, что агроэкономически обосновано дифференцированное применение минеральных удобрений с учетом содержания

питательных элементов по элементарным участкам при пространственной вариабельности нитратного азота 19 % и выше, подвижного фосфора – 48 % и выше, подвижного калия – 27 % и выше [11, с. 20].

Адаптация агротехнологий к условиям каждого поля – важнейший резерв повышения эффективности использования ресурсов. Средством выполнения этой задачи является электронная книга истории полей, привязанная к его электронной карте. Это может быть книга полей для конкретного хозяйства, а может – централизованная цифровая платформа, а также их интеграция в единую систему. В аналитическом центре Министерства сельского хозяйства Российской Федерации создана единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН), служащая для обеспечения актуальной и достоверной информацией о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, включая информацию о местоположении, состоянии и фактическом использовании таких земель и состоянии сельскохозяйственной растительности на них. Существенное значение и преимущество ЕФИС ЗСН заключается в ее полном охвате всех сельскохозяйственных предприятий России, в широком предоставлении доступной от разных профильных госучреждений информации по полям (векторные карты, статистическая информация, структура посевных площадей и севооборотов, данные дистанционного зондирования земли, параметры плодородия почвы и агрохимические показатели, информация о проведенных технологических операциях). В отличие от многочисленных коммерческих систем ЕФИС ЗСН для пользователей бесплатна [12, с. 5; 13, с. 175 ; 14, с. 3]. В то же время основной функцией данной системы является учет и контроль использования земель, а получение новых знаний, анализ и проектирование агротехнологий в ней пока не разработаны. Для использования ЕФИС ЗСН в качестве источника новых знаний по земледелию в нее целесообразно включить информацию о видах и дозах удобрений и средств защиты растений, сортовом составе, урожайности культур, сроках выполнения работ и другие параметры.

Одним из основных факторов повышения эффективности использования ресурсов является диверсификация посевов сельскохозяйственных культур, адаптированная к существующим природным и экономическим условиям производства [15, с. 8]. В структуре посевов следует увеличивать долю озимых, зернобобовых и масличных культур. Среди зернобобовых в условиях Зауралья могут вызревать и успешно возделываться такие культуры, как вика, горох, нут, чечевица, соя. Горох обеспечивает повышение плодородия почвы, позволяет оптими-

зировать полевые работы: его посев можно проводить в начале мая, а уборку – в первой половине августа. Расширяя посевы гороха, можно сократить площади яровой пшеницы и тем самым перенести сроки ее уборки на более ранние [16, с. 76].

В условиях потепления зим, наблюдающегося в последние годы, в Сибири и Уральском регионе отмечается рост посевных площадей озимых ржи и пшеницы. Благодаря стабильной урожайности в большинстве лет озимая рожь имеет некоторое преимущество по рентабельности производства (см. рис. 2). Озимая пшеница по сравнению с рожью не имеет ограничений по сбыту. По данным Курганского НИИСХ, в питомниках и на производственных полях размножения с 2012 по 2021 гг. озимая пшеница ни разу не погибала и ее урожайность в конкурсном сортоиспытании была на 0,48 т/га выше урожайности яровой пшеницы (2,76 против 2,28 т/га) [17, с.75]. Уборка озимой пшеницы проходит в конце июля – начале августа, это снижает напряженность уборочных работ и позволяет избежать неблагоприятной погоды во второй половине сентября и октябре при уборке яровой пшеницы. Как правило, во время уборки озимых культур цена на зерно выше, чем в более поздние сроки, когда его предложение увеличивается. Средства от реализации озимых используются в последующих уборочных работах.

Важным направлением диверсификации посевных площадей сельскохозяйственных культур выступают масличные культуры, которые благополучно вызревают в условиях Зауралья (подсолнечник, рапс, лен масличный). Эти культуры в большинстве своем засухоустойчивы, в связи с более продолжительным (подсолнечник) или коротким (лен масличный) вегетационным периодом уборка этих культур проводится до или после зерновых культур. Это также разгружает нагрузку на уборочные работы.

Необходимо учитывать климатические изменения, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур. В этой связи, по мнению С. С. Байшоланова, в Северо-Казахстанской области со схожими природно-климатическими условиями с Курганской областью прогнозируется падение основной сельскохозяйственной культуры до 2050 г. до 52–66 % от существующих значений урожайности, в Акмолинской – до 58–77 %, а в Костанайской – до 51–63 %. В то же время в условиях ожидаемого потепления климата до 2030 г. урожайность семян подсолнечника по прогнозу в среднем составит 102–109 % от их современного уровня, а к 2050 г. – 100–105 % [18, с. 83; 19, с. 1].

Цена маслосемян существенно превышает цену зерна пшеницы [20, с. 93–94]. В большинстве лет рентабельность у масличных выше, чем у зерновых культур: в 2021 г. рентабельность производства рап-

са, льна масличного и подсолнечника в 2,5–3,0 раза превосходила рентабельность пшеницы (рис. 2). В 2022 г. в Курганской области площадь посева масличных культур по сравнению с предыдущим годом увеличилась со 139,6 до 250 тыс. га, или в 1,8 раза. В структуре посевных площадей масличные культуры заняли 19,1 %, это существенно влияет на повышение экономической эффективности растениеводства. Более высокие доходы от масличных культур, особенно в засушливые годы, стабилизируют финансовое состояние сельскохозяйственных предприятий.

Следует отметить, что диверсификация структуры посевных площадей за счет расширения посевов масличных культур по интенсификации производства имеет ограничения. На высоком уровне затрат – более 25 тыс. руб. на 1 га – окупаемость дополнительных вложений начинает снижаться.

В этом случае интенсификация может быть продолжена развитием животноводства и, соответственно, увеличением доли кормовых культур.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Диспаритет цен на средства производства и продукцию сельского хозяйства ведет к снижению уровня рентабельности сельхозпредприятий. Экономический анализ данных полевых экспериментов, проведенных в Курганском НИИСХ, показывает, что эффективность технологий выращивания зерновых культур по ценам на средства производства и зерно 2022 г. по сравнению с ценами 2007 г. снизилась, особенно в вариантах с комплексной химизацией. Группировка сельхозпредприятий Курганской области по уровню затрат на гектар посева яровой пшеницы за 2017–2021 гг. также указывает на снижение экономической эффективности при их увеличении.

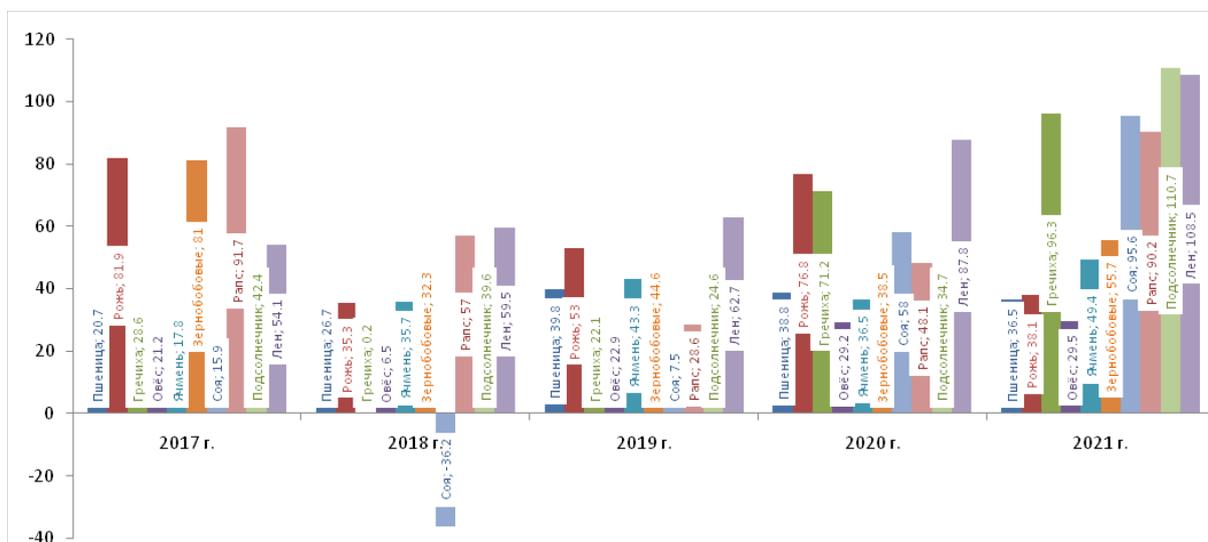


Рис. 2. Рентабельность производства основных полевых культур в сельскохозяйственных организациях Курганской области, %

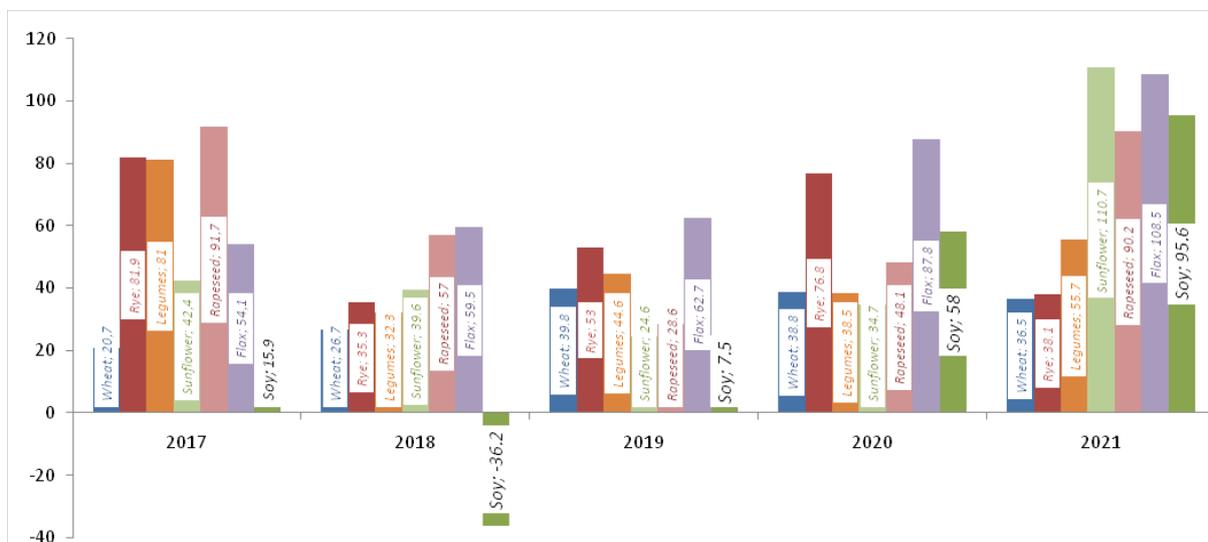


Fig. 2. Profitability of production of the main field crops in agricultural organizations of the Kurgan region, %

В растениеводстве, кроме необходимой государственной поддержки сельхозтоваропроизводителей, важно находить внутренние резервы повышения эффективности использования ресурсов. Одним из них в современной земледелии является применение цифровых методов управления агротехнологиями. Например, системы параллельного вождения и мониторинг техники позволяют за счет усиления контроля над использованием ресурсов экономить горючее, удобрения, семена, средства защиты растений. Работа техники с помощью навигационного оборудования в темное время суток обеспечивает выполнение технологических операций в нормативные сроки и тем самым позволяет повысить урожайность культур на 5–10 %. По на-

шим расчетам, дополнительный доход от системы параллельного вождения составляет в среднем 2 806 руб/га. Анализ и проектирование технологий на основе электронных карт и книг истории полей позволяет дифференцировать ресурсы по полям в соответствии с почвенными, агрохимическими и агротехническими условиями.

Важным направлением повышения эффективности ресурсов остается диверсификация посевных площадей, увеличение доли озимых, зернобобовых и масличных культур, которые по сравнению с яровыми зерновыми культурами в большинстве лет дают более высокий доход, что особенно важно в засушливые годы, стабилизирует доходы сельскохозяйственных предприятий.

Библиографический список

1. Кирюшин В. И., Кирюшин С. В. Агротехнологии: учебник. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. 464 с.
2. The World of 2035. Global Outlook / Prof. Alexander Dynkin, ed. Moscow: Magistr, 2018. 304 p.
3. Оборин М. С. Цифровые инновационные технологии в сельском хозяйстве // Аграрный вестник Урала. 2022. № 5 (220). С. 82–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-82-92.
4. Шарков И. Н. Интенсификация агротехнологий – главный приоритет Сибирского земледелия // Наука и технологии Сибири. 2021. № 3. С. 13–19.
5. Гилев С. Д., Цымбаленко И. Н., Копылов А. Н. [и др.] Эффективность посева без основной обработки почвы в плодосменном и зернопаровом севооборотах центрального лесостепного Зауралья // Земледелие. 2021. № 6. С. 3–8. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-3-8.
6. Труфляк Е. В., Курченко Н. Ю. Оценка готовности регионов к внедрению цифровых технологий в сельское хозяйство // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2019. № 10 (180). С. 22–26.
7. Шаталина Л. П. Точное земледелие как один из путей к энергосбережению ресурсов в сельскохозяйственном производстве // АПК России. 2017. Т. 24. № 4. С. 949–953.
8. Степных Н. В., Нестерова Е. В., Заргарян А. М. Влияние цифровизации управления агротехнологиями на эффективность использования ресурсов // АПК: Экономика, управление. 2020. № 8. С. 46–65. DOI: 10.33305/208-46.
9. Ларина Т. Н., Заводчиков Н. Д. Потенциал и перспективы развития «цифрового» сельского хозяйства в России // Никоновские чтения: периодический сборник материалов конференции. 2018. № 23. С. 283–285.
10. Логачев А. С., Абрамов Н. В. Агроэкологическое обоснование защиты растений с использованием спутниковых систем // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сборник материалов ЛП Международной студенческой научно-практической конференции. Тюмень, 2019. С. 287–291.
11. Чикишев Д. В. Оптимизация минерального питания яровой пшеницы при дифференцированном внесении минеральных удобрений с использованием спутниковой навигационной системы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 2022. 22 с.
12. Козубенко И. С. Почвенная информация в аналитическом центре Минсельхоза России // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018. № 92. С. 3–15. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-3-15.
13. Буланов К. А., Денисов П. В., Лупян Е. А. [и др.] Блок работы с данными дистанционного зондирования Земли Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 171–182. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-171-182.
14. Буланов К. А., Денисов П. В., Косогор С. Н. [и др.] Модуль работы с данными дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сборник тезисов докладов шестнадцатой Всероссийской открытой конференции. Москва, 2018. С. 3. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36713022> (дата обращения: 14.07.2022).
15. Степных Н. В., Нестерова Е. В., Заргарян А. М., Копылова С. А. Стратегическое значение диверсификации растениеводства // Земледелие. 2022. № 2. С. 7–13. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-2-7-13.
16. Сиптиц С. О., Романенко И. А., Евдокимова Н. Е. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России // Проблемы прогнозирования. 2021. № 2 (185). С. 75–86. DOI: 10.1134/S1075700721020040.

17. Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Мальцева Л. Т. [и др.] Анализ погодных условий в связи с возделыванием озимой пшеницы в лесостепной зоне Зауралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1 (65). С. 32–37. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-32-37.
18. Байшоланов С. С., Байбазаров Д. К. Влияние изменения климата на урожайность яровой пшеницы // Гидрометеорология и экология. 2013. № 1 (68). С. 16–23.
19. Воротной И. Казахстан перейдет с пшеницы на подсолнечник [Электронный ресурс]. URL: <https://inbusiness.kz/ru/news/kazakhstan-perejdet-s-pshenicy-na-podsolnechnik> (дата обращения: 22.06.2022).
20. Степных Н. В., Нестерова Е. В., Заргарян А. М. Перспективы расширения производства масличных культур в Уральском регионе // Аграрный вестник Урала. 2021. № 5 (208). С. 89–102. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-89-102.

Об авторах:

Николай Васильевич Степных¹, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-0208-1583, AuthorID 443333; +7 (35231) 57-6-22, nickolai.stepnyh@yandex.ru
Светлана Анатольевна Копылова¹, научный сотрудник, ORCID 0000-0003-3599-7368, AuthorID 763362; knish@ketovo.zaural.ru

Елена Викторовна Нестерова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID 0000-0003-0599-5054, AuthorID 698817; l.nesterowa2009@yandex.ru

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Economic efficiency of resource use in crop production

N. V. Stepnykh¹, S. A. Kopylova¹, E. V. Nesterova¹

¹ Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: nickolai.stepnyh@yandex.ru

Abstract. The disparity of prices between the means of production and crop production leads to a decrease in the efficiency of resource use and the overall profitability of production. In order to stabilize the work of agricultural enterprises in such conditions, in addition to the necessary state support, it is important to find internal reserves in crop production. **The purpose** is to study the state and possibilities of improving the efficiency of resource use in crop production. **The objectives** of the study were the analysis of data reflecting the options for saving resources when cultivating field crops in the conditions of the Kurgan region. **The methods** of monographic, mathematical, and statistical analysis of data from literary sources, annual reports of agricultural enterprises of the Kurgan region, and research results of the Kurgan Research Institute were used. **Scientific novelty.** The work consists in the application of a dynamic method for calculating the economic efficiency of previously tested technologies in various time-varying economic conditions, which makes it possible to more reasonably build long-term plans. It is established that the factors of increasing the efficiency of the use of natural and material resources can be the diversification of acreage by increasing the share of winter, leguminous and oilseed crops and increasing the accuracy of the use of resources using digital methods. **The results** of the study showed that the diversification of acreage makes it possible to distribute field work more efficiently, save resources and receive higher incomes, and stabilize the financial condition of agricultural enterprises. Parallel driving systems and equipment monitoring allow you to save fuel, fertilizers, seeds, plant protection products. The operation of the equipment with the help of navigation equipment in the dark ensures the execution of technological operations within the regulatory deadlines and thereby allows to increase crop yields by 5–10 %. The additional income from the parallel driving system is on average 2155 rubles/ha. Designing technologies based on electronic maps and field history books allows you to differentiate resources by fields in accordance with soil, agrochemical and agrotechnical conditions.

For citation: Stepnykh N. V., Kopylova S. A., Nesterova E. V. Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya resursov v rastenievodstve [Economic efficiency of resource use in crop production] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 12 (227). Pp. 86–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-227-12-86-98. (In Russian.)

Date of paper submission: 08.09.2022, **date of review:** 20.09.2022, **date of acceptance:** 13.10.2022.

References

1. Kiryushin V. I., Kiryushin S. V. Agrotekhnologii: uchebnik [Agrotechnologies: a textbook]. Saint Petersburg: Lan, 2015. 464 p. (In Russian.)
2. The World of 2035. Global Outlook / Prof. Alexander Dynkin, ed. Moscow: Magistr, 2018. 304 p.
3. Oborin M. S. Digital innovative technologies in agriculture // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 5(220). Pp. 82–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-82-92.
4. Sharkov I. N. Intensifikatsiya agrotekhnologiy – glavnyy prioritet Sibirskogo zemledeliya [Intensification of agrotechnologies – the main priority of Siberian agriculture] // Science and technologies of Siberia. 2021. No. 3. Pp. 13–19. (In Russian.)
5. Gilev S. D., Tsymbalenko I. N., Kopylov A. N. et al. Effektivnost' poseva bez osnovnoy obrabotki pochvy v plodosmennom i zernoparovom sevooborotakh tsentral'nogo lesostepnogo Zaural'ya [The effectiveness of sowing without basic tillage in the fruit-bearing and grain-bearing crop rotations of the central forest-steppe Trans-Urals] // Agriculture. 2021. No. 6. Pp. 3–8. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-3-8. (In Russian.)
6. Truflyak E. V., Kurchenko N. Yu. Otsenka gotovnosti regionov k vnedreniyu tsifrovyykh tekhnologiy v sel'skoe khozyaystvo [Assessment of the readiness of regions for the introduction of digital technologies in agriculture] // Bulletin of Samara State University of Economics. 2019. No. 10 (180). Pp. 22–26. (In Russian.)
7. Shatalina L. P. Tochnoe zemledelie kak odin iz putey k energosberezheniyu resursov v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Precision agriculture as one of the ways to energy conservation of resources in agricultural production] // Agro-industrial complex of Russia. 2017. Vol. 24. No. 4. Pp. 949–953. (In Russian.)
8. Stepanykh N. V., Nesterova E. V., Zargaryan A. M. Vliyanie tsifrovizatsii upravleniya agrotekhnologiyami na effektivnost' ispol'zovaniya resursov [The influence of digitalization of agrotechnology management on the efficiency of resource use] // Agroindustrial complex: Economics, management. 2020. No. 8. Pp. 46–65. DOI: 10.33305/208-46. (In Russian.)
9. Larina T. N., Breeders N. D. Potentsial i perspektivy razvitiya "tsifrovogo" sel'skogo khozyaystva v Rossii [Potential and prospects for the development of "digital" agriculture in Russia] // Nikonovskie chteniya: periodicheskiy sbornik materialov konferentsii. 2018. No. 23. Pp. 283–285. (In Russian.)
10. Logachev A. S., Abramov N. V. Agroekologicheskoe obosnovanie zashchity rasteniy s ispol'zovaniem sputnikovyykh sistem [Agroecological justification of plant protection using satellite systems] // Aktual'nye voprosy nauki i khozyaystva: novye vyzovy i resheniya: sbornik materialov LVIII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen, 2019. Pp. 287–291. (In Russian.)
11. Chikishev D. V. Optimizatsiya mineral'nogo pitaniya yarovoy pshenitsy pri differentsirovannom vnesenii mineral'nykh udobreniy s ispol'zovaniem sputnikovoy navigatsionnoy sistemy: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Optimization of mineral nutrition of spring wheat with differentiated application of mineral fertilizers using a satellite navigation system: abstract of the dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Novosibirsk, 2022. 22 p. (In Russian.)
12. Kozubenko I. S. Pochvennaya informatsiya v analiticheskom tsentre Minsel'khoza Rossii [Soil information in the analytical center of the Ministry of Agriculture of Russia] // Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute. 2018. No. 92. Pp. 3–15. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-3-15. (In Russian.)
13. Bulanov K. A., Denisov P. V., Lupyan E. A. et al. Blok raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli Edinoy federal'noy informatsionnoy sistemy o zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [The block of work with remote sensing data of the Earth of the Unified Federal information system on agricultural lands] // Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2019. Vol. 16. No. 3. Pp. 171–182. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-171-182. (In Russian.)
14. Bulanov K. A., Denisov P. V., Kosogor S. N. et al. Modul' raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli v Edinoy federal'noy informatsionnoy sisteme o zemlyakh sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya (EFIS ZSN) [Module of work with remote sensing data of the Earth in the Unified Federal Information System on agricultural Lands (EFIS ZSN)] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: sbornik tezisov dokladov shestnadsatoy Vserossiyskoy otkrytoy konferentsii. Moscow, 2018. P. 3. (In Russian.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36713022> (date of reference: 14.07.2022).
15. Stepanykh N. V., Nesterova E. V., Zargaryan A. M., Kopylova S. A. Strategicheskoe znachenie diversifikatsii rastenievodstva [The strategic importance of crop production diversification] // Agriculture. 2022. No. 2. Pp. 7–13. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-2-7-13. (In Russian.)
16. Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. Model'nye otsenki vliyaniya klimata na urozhaynost' zernovykh i zernobobovykh kul'tur v regionakh Rossii [Model estimates of climate influence on the yield of grain and leguminous crops in the regions of Russia] // Problems of forecasting. 2021. No. 2 (185). Pp. 75–86. DOI: 10.1134/S1075700721020040. (In Russian.)

17. Filippova E. A., Bannikova N. Y., Maltseva L. T. et al. Analiz pogodnykh usloviy v svyazi s vozdeystviem ozimoy pshenitsy v lesostepnoy zone Zaural'ya [Analysis of weather conditions in connection with the cultivation of winter wheat in the forest-steppe zone of the Trans-Urals] // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2022. Vol. 17. No. 1 (65). Pp. 32–37. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-32-37. (In Russian.)
18. Baisholanov S. S., Baibazarov D. K. Vliyaniye izmeneniya klimata na urozhaynost' yarovoy pshenitsy [The influence of climate change on the yield of spring wheat] // Hydrometeorology and ecology. 2013. No. 1 (68). Pp. 16–23. (In Russian.)
19. Vorotnoy I. Kazakhstan pereydet s pshenitsy na podsolnechnik [Kazakhstan will switch from wheat to sunflower] [e-resource]. URL: <https://inbusiness.kz/ru/news/kazakhstan-pereydet-s-pshenicy-na-podsolnechnik> (date of reference: 22.06.2022). (In Russian.)
20. Stepnykh N. V., Nesterova E. V., Zargaryan A. M. Perspektivy rasshireniya proizvodstva maslichnykh kul'tur v Ural'skom regione [Prospects for expanding the production of oilseeds in the Ural region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 5 (208). Pp. 89–102. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-89-102. (In Russian.)

Authors' information:

Nikolay V. Stepnykh¹, candidate of economic sciences, leading researcher, ORCID 0000-0002-0208-1583, AuthorID 443333; +7 (35231) 5-76-22, nickolai.stepnykh@yandex.ru

Svetlana A. Kopylova¹, scientific researcher, ORCID 0000-0003-3599-7368, AuthorID 763362; +7 (35231) 57-6-22, kniish@ketovo.zaoral.ru

Elena V. Nesterova¹, candidate of agricultural sciences, ORCID 0000-0003-0599-5054, AuthorID 698817; l.nesterowa2009@yandex.ru

¹Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



**Уральский государственный
аграрный университет**

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebkecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

A. V. Ruchkin – кандидат социологических наук, шеф-редактор

O. A. Bagretsova – ответственный редактор

A. V. Erofeeva – редактор

N. A. Predeina – верстка, дизайн

Editorial:

A. V. Ruchkin – candidate of sociological sciences, chief editor

O. A. Bagretsova – executive editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Универсальная типография «Альфа Принт».

620049, г. Екатеринбург, пер. Автоматики, д. 2Ж.

Дата выхода в свет: 09.12.2022 г. Усл. печ. л. 9,67. Авт. л. 10,05.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

