



Уральский государственный
аграрный университет

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**2023
№07 (236)**

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 Sótonyi (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. Ismuratov, 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

Агротехнологии

- Г. Г. Борисова, О. В. Воропаева, М. Г. Малева, А. Кумар, Трипти*
Оценка ростостимулирующих свойств ризобактерий *Bacillus* sp. и их влияние на морфофизиологические характеристики рапса 2
- А. Г. Горбачева, И. А. Ветошкина, А. Э. Панфилов*
Жизнеспособность семян и адаптивность раннеспелых гибридов кукурузы в условиях Южного Урала 14
- А. Е. Романюкин, Н. А. Ковтунова*
Изучение перспективных сортов сорго сахарного 22
- И. В. Сафонова, Н. И. Аниськов*
Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания 32
- Л. Н. Скипин, Е. В. Захарова, Н. Н. Дюкова*
Влияние основных типов химизма степени засоления почв и техногенных грунтов на всхожесть семян фитомелиорантов 46
- Н. В. Степных, Е. В. Нестерова, А. М. Заргарян*
Значение масличных культур в повышении устойчивости растениеводства в природно-климатических условиях Южного Урала и Зауралья 57
- Биология и биотехнологии**
- Е. Н. Беспамятных, А. С. Кривоногова, А. Г. Исаева, И. М. Донник, А. Е. Ченцова*
Метаболические изменения в организме кур-несушек при применении антибиотика и фитобиотика 71
- М. Н. Дрозд, В. М. Усевич*
Сравнительная оценка эффективности кормовых добавок на основе торфосапропелевого концентрата при выращивании бройлеров 83
- А. А. Реут, С. Г. Денисова, Л. Ф. Бекшенева, И. Н. Аллаярова*
Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. 93
- М. А. Тихонова*
Перспективные белоягодные столовые сорта винограда (*Vitis* L.) в условиях Южного Урала 105
- Т. И. Фомина, Т. А. Кукушкина*
Содержание биологически активных веществ в вегетативной массе очитков (*Sedoideae*) 115

Contents

Agrotechnologies

- G. G. Borisova, O. V. Voropaeva, M. G. Maleva, A. Kumar, Tripti*
Evaluation of the growth-promoting attributes of rhizobacteria *Bacillus* sp. and their influence on the morphophysiological characteristics of rapeseed 2
- A. G. Gorbacheva, I. A. Vetoshkina, A. E. Panfilov*
Viability of seeds and adaptability of early-maturing hybrids of corn in the conditions of the Southern Urals 14
- A. E. Romanyukin, N. A. Kovtunova*
Study of the promising sweet sorghum varieties 22
- I. V. Safonova, N. I. Aniskov*
Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions 32
- L. N. Skipin, E. V. Zakharov, N. N. Dyukova*
The influence of the main types of chemistry and the degree of salinity of soils and man-made soils on the germination of phytomeliiorant seeds 46
- N. V. Stepnykh, E. V. Nesterova, A. M. Zargaryan*
The importance of oilseeds in increasing the sustainability of crop production in the natural and climatic conditions of the Southern Urals and Trans-Urals 57
- Biology and biotechnologies**
- E. N. Bepamyatnykh, A. S. Krivonogova, A. G. Isaeva, I. M. Donnik, A. E. Chentsova*
Metabolic changes in the organism of laying hens when using antibiotics and phytobiotics 71
- M. N. Drozd, V. M. Usevich*
Comparative evaluation of the effectiveness of feed additives based on peat sapropel concentrate in the cultivation of broilers 83
- A. A. Reut, S. G. Denisova, L. F. Beksheneva, I. N. Allayarova*
Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. 93
- M. A. Tikhonova*
Promising white-berry table grape varieties (*Vitis* L.) in the conditions of the Southern Urals 105
- T. I. Fomina, T. A. Kukushkina*
The content of biologically active substances in the vegetative mass of stonecrops (*Sedoideae*) 115

Оценка ростостимулирующих свойств ризобактерий *Bacillus* sp. и их влияние на морфофизиологические характеристики рапса

Г. Г. Борисова¹, О. В. Воропаева¹, М. Г. Малева¹✉, А. Кумар¹, Трипти¹

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

✉E-mail: maria.maleva@mail.ru

Аннотация. Использование биопрепаратов на основе бактерий, способствующих росту растений, является перспективным направлением сельскохозяйственной биотехнологии. **Цель исследования** – оценить ростостимулирующие свойства *Bacillus* sp. и выявить морфофизиологические особенности рапса ярового (*Brassica napus* L.) при инокуляции почвы этими ризобактериями. **Методы.** Изучена способность штамма *Bacillus* sp. TO15c, выделенного из ризосферы *Taraxacum officinale* на безазотистой питательной среде Зака, продуцировать индолил-3-уксусную кислоту (ИУК) и доступные фосфаты. В горшечных опытах выполнена оценка изменения морфофизиологических характеристик рапса при инокуляции ризобактериями как в отсутствие, так и в присутствии азотного удобрения. В конце 100-дневной вегетации рапса определяли длину побега, суммарную площадь листьев, сырую биомассу, содержание азота, фосфора, калия и фотосинтетических пигментов. **Результаты.** Доказана способность штамма *Bacillus* sp. TO15c продуцировать ИУК (до 26 мг/л) и солюбилизировать фосфаты (до 60 мг/л). Инокуляция почвы ризобактериями в присутствии аммонийной селитры приводила к увеличению длины побега рапса на 24 % и суммарной площади листьев на 16 %. При этом надземная сырая биомасса возрастала в 1,5 раза, подземная – в 2,5 раза, а в биомассе увеличивалось содержание макроэлементов. При инокуляции *Bacillus* sp. TO15c отмечено также увеличение содержания фотосинтетических пигментов в листьях рапса (в среднем в 1,5 раза). Максимальный эффект достигался при совместном внесении ризобактерий и азотного удобрения. В конце эксперимента число колониеобразующих единиц в почвенных образцах, инокулированных *Bacillus* sp., было почти в 10 раз выше, чем в контроле, что свидетельствует о жизнеспособности изученного штамма. **Научная новизна.** Доказано, что эффективность действия ростостимулирующего штамма *Bacillus* sp. TO15c на растения рапса повышалась в присутствии азотного удобрения, несмотря на то, что эти бактерии способны фиксировать атмосферный азот.

Ключевые слова: *Brassica napus*, бактериальное биоудобрение, растительно-микробные взаимодействия, индолил-3-уксусная кислота, солюбилизация фосфатов, макроэлементы, фотосинтетические пигменты.

Для цитирования: Борисова Г. Г., Воропаева О. В., Малева М. Г., Кумар А., Трипти. Оценка ростостимулирующих свойств ризобактерий *Bacillus* sp. и их влияние на морфофизиологические характеристики рапса // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-2-13.

Дата поступления статьи: 05.03.2023, **дата рецензирования:** 25.03.2023, **дата принятия:** 03.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Неуклонный рост численности населения сопровождается растущим спросом на продукты питания [1]. За последние десятилетия масштабы сельскохозяйственного производства возросли за счет использования высокоурожайных сортов и увеличения потребления агрохимикатов, которые используются в качестве как удобрений, так и средств защиты от фитопатогенов [2]. Несбалансированное внесение удобрений ведет к отрицательному балансу питательных веществ в почвах, а неправильное

использование ядохимикатов – к нарушению функционирования экосистем, снижению в них биологического разнообразия и качества самой продукции [3, с. 69]. Потенциальная опасность агрохимикатов для здоровья человека и среды его обитания вызывает необходимость разработки новых подходов к организации защитных и восстанавливающих почвенное плодородие мероприятий, одним из которых является использование микробиологических удобрений и средств защиты растений [4, с. 19]. Кроме того, биологические подходы с использова-

нием микроорганизмов приобретают все большее значение как экологически чистые технологии для смягчения техногенных нагрузок. Микроорганизмы могут выживать в дивергентной среде и производить метаболиты, которые способны разлагать и трансформировать загрязняющие вещества техногенной природы [5].

Микробиологическая активность почвы имеет большое значение для поддержания устойчивости агроэкосистем. Взаимодействия растений и микроорганизмов могут быть полезными или вредными в зависимости от особенностей микроорганизмов и способа их взаимодействия с растениями [2]. Среди ассоциированных микроорганизмов широкое распространение получили бактерии, способствующие росту растений (от англ. plant growth promoting – PGP), к которым относятся как эндофитные (PGPE), так и ризобактерии (PGPR) [2].

Значительную роль в процессах роста и развития растений играет ризосфера, зона ближайшего окружения корней, заселенная бактериями, микроскопическими грибами, нематодами, водорослями [6, с. 2]. Ростостимулирующие бактерии оказывают на растения как прямые, так и косвенные воздействия. Прямой эффект PGPR заключается в увеличении доступности важнейших макроэлементов, таких как азот, фосфор, калий, а также регулировании уровня гормонов для получения необходимых ресурсов растением. Благодаря этому индуцируются механизмы системной устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам [6, с. 4]. Косвенное воздействие проявляется в подавлении развития патогенных микроорганизмов, синтезе антибиотиков, сидерофоров, цианистого водорода, образовании гидролитических ферментов (хитиназ, глюконаз, протеаз и липаз), которые разрушают структурные полисахариды клеточной стенки патогенных грибов и лизируют их гифы [6, с. 7].

Применение микробиологических удобрений является важным шагом на пути развития агробиотехнологий. При этом используются разные способы инокуляции: инокуляция семян методами посева суспензии или дражирования; инокуляция проростков; метод твердой инокуляции почвы [7, с. 328]. В растениях, инокулированных PGPR, происходят морфологические и биохимические изменения, повышающие их толерантность к абиотическим стрессам [4, с. 20]. Важнейшими проявлениями PGP-активности являются выработка гормонов и сольubilизация фосфатов [2].

Отмечено, что большинство выделенных из ризосферы растений бактерий обладают способностью синтезировать и выделять ауксины [6, с. 5]. Они играют решающую роль в делении и дифференцировке растительных клеток, прорастании, фототропизме, геотропизме, биосинтезе метаболитов и стрессоустойчивости [8, с. 98]. Амино-

кислота *L*-триптофан в корневых экссудатах растений выступает предшественником биосинтеза индолил-3-уксусной кислоты (ИУК). Показано, что изоляты *Bacillus cereus* и *Bacillus subtilis* демонстрировали примерно одинаковую способность к продукции ИУК: в среднем 36 мг/л [9, с. 9]. Причем оба штамма были способны к синтезу ИУК как в присутствии, так и в отсутствие *L*-триптофана [9, с. 7]. Отмечено также, что выработка ИУК увеличивалась с повышением концентрации *L*-триптофана [10, с. 574; 11, с. 674].

Одним из жизненно важных макроэлементов, необходимых растениям для оптимального роста, является фосфор. Более 90 % фосфора в почве находится в нерастворимой, иммобилизованной и осаждаемой форме. Фосфатсольubilизирующие бактерии широко распространены в ризосферной почве. Они синтезируют некоторые низкомолекулярные органические кислоты, а также используют фермент фосфатазу для растворения соединений неорганического фосфора до ионов, которые могут поглощаться корнями растений. Основными сольubilизаторами фосфатов в почве являются представители родов *Bacillus*, *Enterobacter*, *Erwinia* и *Pseudomonas* [6, с. 4]. Фосфатсольubilизирующая способность у разных видов микроорганизмов и разных штаммов может варьировать в значительных пределах. Так, например, у изолята силикатных бактерий *Bacillus* sp. она составляла 135 мг/л [12, с. 2], у *Bacillus altitudinis* (штамм TF16a) – 215 мг/л [13, с. 6], а у эндофитной бактерии *Pseudomonas lurida* (штамм E0026) – 437 мг/л [14, с. 6]. Еще более высокая способность сольubilизировать фосфаты была отмечена у изолятов ризобактерий *Bacillus* sp. (штамм STJP) – до 610 мг/л [15, с. 126].

Таким образом, бактерии, обладающие PGP-активностью, достаточно часто встречаются в природе, однако механизмы их влияния на растения, а также связь между микробным разнообразием и экосистемными процессами изучены недостаточно [2].

Цель исследования – оценить такие ростостимулирующие свойства штамма ризобактерий *Bacillus* sp. TO15c, как способность к синтезу ИУК и сольubilизации фосфатов, а также выявить морфофизиологические особенности рапса при инокуляции почвы этими бактериями.

Методология и методы исследования (Methods)

Штамм бактерий TO15c был выделен из ризосферы *Taraxacum officinale* Wigg. s. L., произрастающего на глинистом субстрате вблизи села Баженово Свердловской области. Посевы были сделаны на агаризованную питательную среду Зака, не содержащую азота, в которой могут размножаться только микроорганизмы, способные к фиксации атмосферного азота. По морфологическим и физиолого-био-

химическим характеристикам бактерии были идентифицированы как *Bacillus* sp. [16, с. 567].

Жидкая культура была выращена на модифицированной среде Зака, в которую вносили минеральную форму азота (1,0 г/л), чтобы обеспечить возможность образования спор [17, с. 254].

Для оценки способности исследуемого штамма синтезировать ИУК ризобактерии культивировали на среде Зака с добавлением *L*-триптофана. Концентрацию ИУК в супернатанте измеряли на планшетном спектрофотометре (Infinite M200 PRO, Tecan, Австрия) при 530 нм в течение 11 суток после добавления реактива Сальковского [18, с. 302]. В качестве стандарта использовали ИУК (Sigma-Aldrich, США). Параллельно оценивали динамику роста культуры *Bacillus* sp. на среде Зака. Количество бактерий в культуре подсчитывали с помощью микроскопического метода Виноградского – Брида [19, с. 188].

Для определения способности выделенных штаммов к солибилизации фосфатов бактерии инкубировали на жидкой среде NBRIP (National Botanical Research Institute's phosphate growth medium). В качестве контроля использовали среду NBRIP без добавления бактерий. В течение 11 суток определяли количество доступных форм фосфора при длине волны 420 нм после реакции с ванадиево-молибденовым реагентом. В качестве стандарта для построения калибровочной кривой использовали растворимую форму фосфата KH_2PO_4 [18, с. 302]. Параллельно оценивали динамику роста культуры *Bacillus* sp. на среде NBRIP. Количество жизнеспособных клеток в почве по окончании эксперимента оценивали путем определения количества колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г сухого субстрата чашечным методом.

В качестве модельного растения был выбран рапс яровой (*Brassica napus* L.), сем. Brassicaceae. Это травянистое растение является одной из основных масличных культур технического назначения, активно используется в качестве сидеральной и кормовой культуры, а семена находят широкое применение в текстильной, фармацевтической, пищевой и других отраслях [20, с. 128].

Эксперимент по оценке влияния PGPR на морфологические показатели *B. napus* проводили в модельных условиях в двух независимых повторностях (апрель – июль 2021 года). Эксперимент включал следующие варианты: контрольный субстрат (КС) без добавления бактерий и азотного удобрения; субстрат, инокулированный штаммом *Bacillus* sp. TO15c (PGPR); субстрат с добавлением азотного удобрения (N); субстрат с добавлением бактерий и азотного удобрения (PGPR + N).

Для проведения эксперимента использовали пластиковые горшки объемом 300 мл (4 горшка в каждом варианте), в которые высевали семена рап-

са (по 15 штук/горшок). В качестве субстрата использовали смесь торфяного почвогрунта и глины (в соотношении 60:40 по объему). Величина pH почвенно-водной суспензии составляла 6,2, удельная электропроводность – 980 мкСм/см, общее содержание солей – 489 мг/кг.

Для оценки эффективности PGPR при дополнительном внесении азотного удобрения в почву двух последних вариантов добавляли по 55 мг аммонийной селитры. Растения выращивали в течение 100 суток в двух растительных камерах с использованием фитоламп ULI-P10-18W/SPFR (фотопериод – 14:10, освещенность – 150 $\mu\text{моль}/\text{м}^2 \times \text{с}$, температура 24 ± 3 °C). В конце вегетации были определены следующие параметры рапса: длина побега, суммарная площадь листьев, надземная и подземная биомасса. Все морфометрические характеристики изучали на живых растениях: длину побега оценивали путем линейного измерения; площадь листовой пластинки определяли посредством обработки фотографий (4-й лист каждого растения рядом с линейкой) в программе JMicroVision, версия 1.2.7; надземную и подземную биомассу – путем взвешивания.

Общее содержание азота и фосфора в надземной и подземной биомассе определяли после мокрого озоления растительного материала со смесью концентрированной серной и хлорной кислот (10:1 по объему). Содержание азота в растительных образцах определяли на планшетном спектрофотометре (Infinite 200 PRO, Tecan, Австрия) при 400 нм после проведения реакции с реактивом Несслера [21, с. 29]. Содержание общего фосфора в биомассе определяли спектрофотометрически при 660 нм после проведения реакции с молибдатом аммония в кислой среде [21, с. 31]. Содержание общего калия в растительном материале измеряли на атомно-абсорбционном спектрометре AAS vario 6 (Analytic Jena, Германия). Определению общего калия предшествовало озоление растительного материала 70-процентной азотной кислотой.

Для анализа содержания фотосинтетических пигментов их экстрагировали из навесок листьев (50 мг) в 80-процентном растворе ацетона. Содержание хлорофиллов *a*, *b* (Хл *a*, Хл *b*) и каротиноидов (Карот.) определяли спектрофотометрически при 470, 626 и 663 нм и рассчитывали согласно Lichtenthaler [22, с. 366].

Величину pH, удельную электропроводность и общее содержание солей определяли в почвенно-водной суспензии в соотношении 1:2,5 (почва : деионизированная вода, масса к объему) с помощью портативного pH-метра/кондуктометра (Hanna Instruments GmbH, Graz, Австрия).

Статистическая обработка включала в себя расчет средних арифметических значений каждого параметра и их стандартных ошибок, которые отражены в таблицах и на рисунках. Результаты двух

независимых горшечных экспериментов усреднялись ($n = 8$). Проверку на нормальность распределения выборок параметров проводили с помощью *W*-теста Шапиро – Уилка. Для оценки достоверности различий между вариантами использовали непараметрический критерий Манна – Уитни (в программе STATISTICA 12.0). В таблицах, на рис. 2 и 3 разными буквами латинского алфавита обозначены достоверные различия между вариантами при $p < 0,05$.

Результаты (Results)

Оценку ростостимулирующей способности культивируемых изолятов *Bacillus* sp. TO15с проводили путем их тестирования на способность к синтезу ИУК и солюбилизации фосфатов (рис. 1). В культуральной жидкости ИУК была обнаружена на вторые сутки культивирования. За весь период роста бактериальной культуры количество ИУК не превышало 26 мкг/мл (рис. 1, а).

Динамика роста культуры *Bacillus* sp. на питательной среде Зака представлена на рис. 1, б. Сле-

дует отметить, что максимальный синтез ИУК приходился на стационарную фазу роста исследуемой бактериальной культуры (рис. 1).

Показано, что изоляты *Bacillus* sp. способны к солюбилизации фосфатов в форме $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в жидкой среде NBRIP. Солюбилизацию фосфатов бактерии осуществляли с первых суток культивирования, но максимальное количество (60 мг/л) растворенного фосфата в культуральной жидкости было обнаружено на 5-е сутки (рис. 2, а), что соответствует стационарной фазе роста бактериальной культуры на питательной среде NBRIP (рис. 2, б).

Наблюдения за прорастанием семян рапса показали, что всходы начали появляться уже на 3-й день после посева. По скорости появления всходов между вариантами достоверных различий не выявлено. Содержание PO_4^{3-} , мг/л

Инокуляция почвы штаммом *Bacillus* sp. TO15с без азотного удобрения существенно не влияла на длину побега, площадь листьев и величину надземной и подземной биомассы (таблица 1).

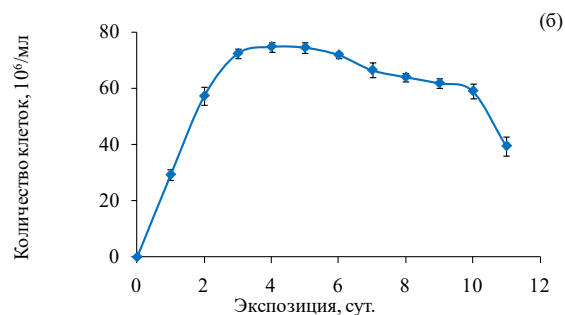
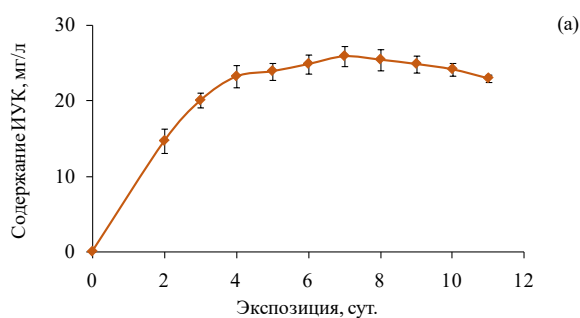


Рис. 1. Динамика синтеза ИУК (а) и рост культуры *Bacillus* sp. на среде Зака (б)

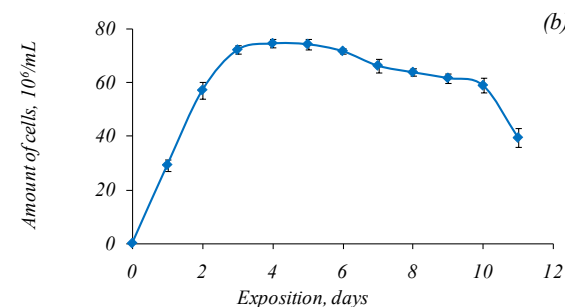
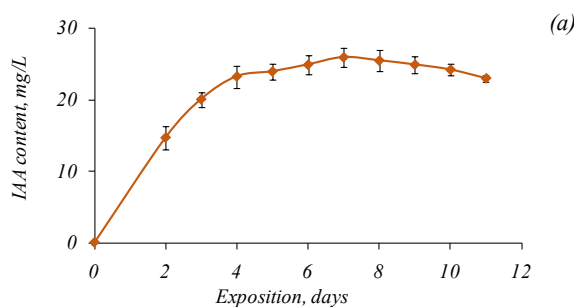


Fig. 1. Dynamics of IAA production (a) and growth of *Bacillus* sp. on Zack's medium (b)

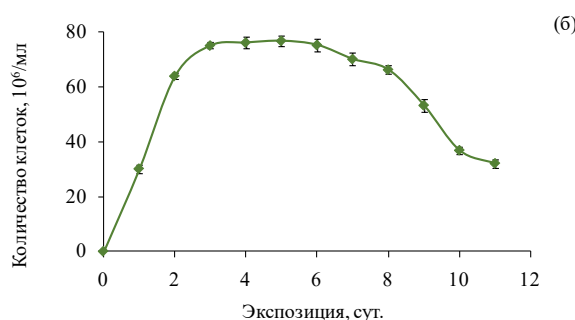
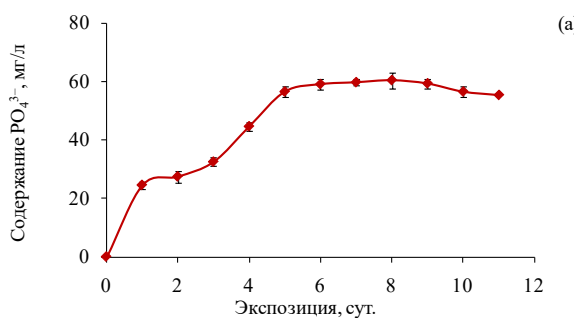


Рис. 2. Динамика солюбилизации фосфатов (а) и рост культуры *Bacillus* sp. на среде NBRIP (б)

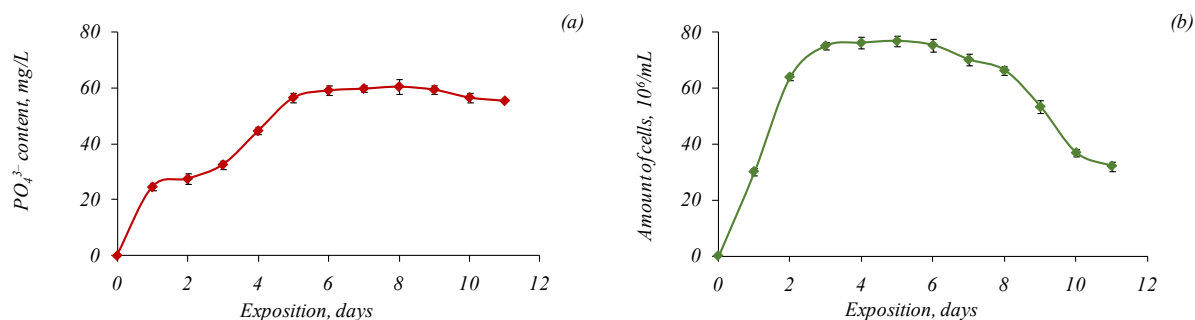


Fig. 2. Dynamics of phosphate solubilization (a) and growth of *Bacillus* sp. on NBRIP medium (b)

Таблица 1
Морфометрические параметры *B. napus*

Параметр	Вариант			
	КС	PGPR	N	PGPR + N
Длина побега, см	23,4 ± 2,2 a	24,4 ± 3,1 a	25,0 ± 3,4 a	29,0 ± 2,6 b
Суммарная площадь листьев одного растения, см ²	8,6 ± 0,6 a	8,7 ± 0,6 a	8,7 ± 0,6 a	10,0 ± 0,1 b
Надземная сырая биомасса одного растения, г	1,2 ± 0,2 a	1,1 ± 0,2 a	1,0 ± 0,0 a	1,8 ± 0,1 b
Подземная сырая биомасса одного растения, г	0,02 ± 0,01 a	0,02 ± 0,01 a	0,02 ± 0,01 a	0,05 ± 0,01 b

Примечание. КС – контрольный субстрат, PGPR – изолят *Bacillus* sp. TO15c, N – аммонийная селитра.

Table 1
Morphometric parameters of *B. napus*

Parameter	Treatment			
	CS	PGPR	N	PGPR + N
Shoot length, cm	23.4 ± 2.2 a	24.4 ± 3.1 a	25.0 ± 3.4 a	29.0 ± 2.6 b
Total leaf area of one plant, cm ²	8.6 ± 0.6 a	8.7 ± 0.6 a	8.7 ± 0.6 a	10.0 ± 0.1 b
Aboveground wet biomass of one plant, g	1.2 ± 0.2 a	1.1 ± 0.2 a	1.0 ± 0.0 a	1.8 ± 0.1 a
Underground wet biomass of one plant, g	0.02 ± 0.01 a	0.02 ± 0.01 a	0.02 ± 0.01 a	0.05 ± 0.01 b

Note. CS – control substrate, PGPR – isolate of *Bacillus* sp. TO15c, N – ammonium nitrate.

Таблица 2
Общее содержание азота, фосфора и калия в биомассе *B. napus*

Макроэлемент, % сухого веса	Вариант			
	КС	PGPR	N	PGPR + N
<i>Надземная биомасса</i>				
Азот	3,3 ± 0,2 a	3,8 ± 0,1 b	3,9 ± 0,3 b	4,0 ± 0,3 b
Фосфор	0,19 ± 0,02 a	0,25 ± 0,01 b	0,23 ± 0,01 b	0,28 ± 0,01 b
Калий	3,1 ± 0,1 a	3,6 ± 0,2 b	3,8 ± 0,1 b	3,9 ± 0,3 b
<i>Подземная биомасса</i>				
Азот	2,6 ± 0,1 a	2,7 ± 0,2 a	2,7 ± 0,2 a	2,7 ± 0,3 a
Фосфор	0,12 ± 0,00 a	0,21 ± 0,00 b	0,12 ± 0,01 a	0,21 ± 0,01 b
Калий	3,5 ± 0,1 a	4,5 ± 0,2 b	3,5 ± 0,1 a	4,5 ± 0,3 b

Примечание. КС – контрольный субстрат, PGPR – изолят *Bacillus* sp. TO15c, N – аммонийная селитра.

Table 2
Total content of nitrogen, phosphorus and potassium in *B. napus* biomass

Macronutrient, % of dry weight	Treatment			
	CS	PGPR	N	PGPR + N
<i>Aboveground biomass</i>				
Nitrogen	3.3 ± 0.2 a	3.8 ± 0.1 b	3.9 ± 0.3 b	4.0 ± 0.3 b
Phosphorus	0.19 ± 0.02 a	0.25 ± 0.01 b	0.23 ± 0.01 b	0.28 ± 0.01 b
Potassium	3.1 ± 0.1 a	3.6 ± 0.2 b	3.8 ± 0.1 b	3.9 ± 0.3 b
<i>Underground biomass</i>				
Nitrogen	2.6 ± 0.1 a	2.7 ± 0.2 a	2.7 ± 0.2 a	2.7 ± 0.3 a
Phosphorus	0.12 ± 0.00 a	0.21 ± 0.00 b	0.12 ± 0.01 a	0.21 ± 0.01 b
Potassium	3.5 ± 0.1 a	4.5 ± 0.2 b	3.5 ± 0.1 a	4.5 ± 0.3 b

Note. CS – control substrate, PGPR – isolate of *Bacillus* sp. TO15c, N – ammonium nitrate.

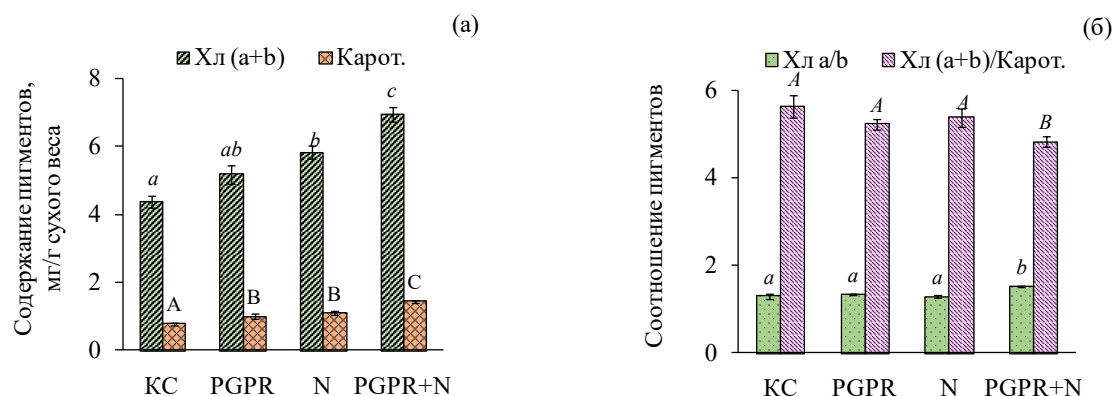


Рис. 3. Содержание (а) и соотношение (б) фотосинтетических пигментов в листьях рапса

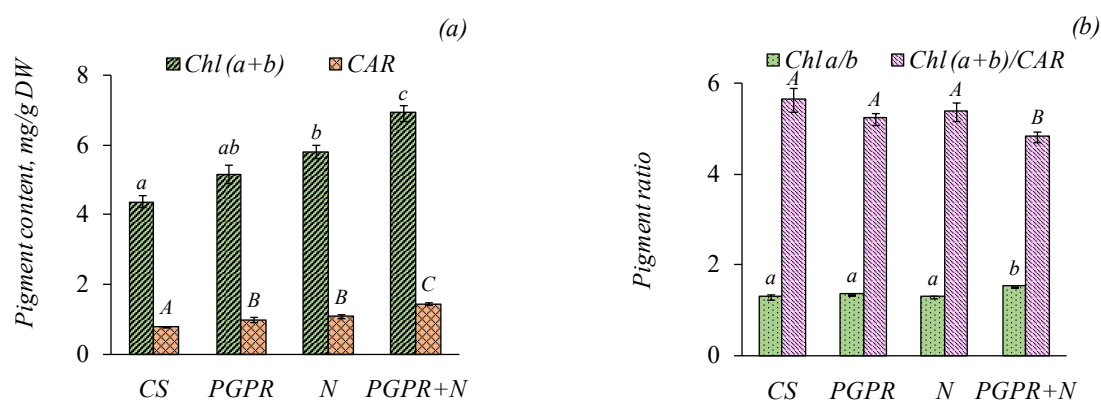


Fig. 3. The photosynthetic pigment content (a) and their ratio (b) in the leaves of rapeseed

Совместное внесение PGPR и аммонийной селитры приводило к увеличению средней длины побега на 24 %, а средней площади листовой поверхности – на 16 % по сравнению с контролем. При этом надземная сырая биомасса возрастала в 1,5 раза, а подземная – в 2,5 раза.

Добавление к почве PGPR способствовало повышению в биомассе рапса общего содержания важнейших макроэлементов (таблица 2). Однако наиболее существенное увеличение их количества наблюдалось при совместном использовании бактерий и азотного удобрения. При этом содержание азота, фосфора и калия в надземной биомассе увеличивалось по сравнению с контролем на 20, 47 и 26 % соответственно (таблица 2).

Что касается подземной биомассы *B. napus*, достоверных различий между вариантами по содержанию азота не было выявлено, в то время как содержание фосфора и калия было максимальным при инокуляции PGPR (на 75 и 28 % выше, чем в контроле, соответственно), независимо от добавления аммиачной селитры.

Важной характеристикой фотосинтетического аппарата растений при действии различных факторов является состояние пигментного комплекса, поскольку от него зависят интенсивность фотосинтеза и продуктивность растений [23, с. 6]. При раздельном внесении PGPR и азотного удобрения суммарное содержание хлорофиллов в листьях *B. napus* увеличивалось в среднем на 25 % по сравнению с

контролем, а при совместном – на 58 % (рис. 3, а). Аналогичная тенденция наблюдалась и по содержанию каротиноидов: при раздельном применении *Bacillus* sp. оно возрастало на 35 % относительно контроля, а при совместном – на 85 %.

По соотношению фотосинтетических пигментов можно судить об адапционных процессах фотосинтетического аппарата. Низкая (в среднем 1,4) величина соотношения Хл a/b (рис. 3, б) у *B. napus* свидетельствует о том, что значительная часть хлорофиллов находилась в светособирающем комплексе фотосистем [23, с. 4]. Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам характеризует в целом светособирающую функцию пигментного комплекса. В среднем оно составляло 5,3, что является характерной особенностью теневых листьев [23, с. 5]. Достоверные различия по соотношению пигментов были отмечены только при совместном использовании PGPR и аммонийной селитры.

В конце вегетационного периода были определены некоторые физико-химические параметры почвы (таблица 3). Реакция среды была нейтральной или близкой к нейтральной. Достоверных различий между вариантами по величине pH водной вытяжки не обнаружено. Максимальные значения удельной электропроводности и общего содержания солей были отмечены при инокуляции почвы PGPR, что, очевидно, свидетельствует о процессах солиubilизации нерастворимых соединений не только фосфора, но, возможно, и калия.

Таблица 3

Физико-химические параметры почвенных образцов

Вариант	pH	Удельная электропроводность, мкСм/см	Общее содержание солей, мг/кг
КС	7,00 ± 0,15 a	280,00 ± 5,77 a	138,00 ± 1,67 a
PGPR	6,90 ± 0,10 a	391,00 ± 24,67 b	181,00 ± 8,97 b
N	6,80 ± 0,06 a	276,00 ± 9,45 a	134,00 ± 3,06 a
PGPR + N	6,78 ± 0,20 a	389,00 ± 15,51 b	178,00 ± 7,57 b

Примечание. КС – контрольный субстрат, PGPR – изолят *Bacillus* sp. TO15c, N – аммонийная селитра.

Table 3

Physical and chemical parameters of soil samples

Treatment	pH	Specific electrical conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Total salt content, mg/kg
CS	7.00 ± 0.15 a	280.00 ± 5.77 a	138.00 ± 1.67 a
PGPR	6.90 ± 0.10 a	391.00 ± 24.67 b	181.00 ± 8.97 b
N	6.80 ± 0.06 a	276.00 ± 9.45 a	134.00 ± 3.06 a
PGPR + N	6.78 ± 0.20 a	389.00 ± 15.51 b	178.00 ± 7.57 b

Note. CS – control substrate, PGPR – isolate of *Bacillus* sp. TO15c, N – ammonium nitrate.

По окончании эксперимента число КОЕ бактерий *Bacillus* sp. в почвенных образцах вариантов без внесения PGPR достоверно не отличалось и составляло в среднем $2,2 \times 10^5$, в то время как при инокуляции – в среднем $1,9 \times 10^6$. Следовательно, на протяжении всего эксперимента культура PGPR сохраняла свою жизнеспособность и оказывала положительное влияние на характеристики почвы и растений.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Использование биопрепаратов на основе ризосферных бактерий, способствующих росту растений, является перспективным направлением сельскохозяйственной биотехнологии. Роль биоудобрений особенно важна в современной ситуации, когда стоимость химических удобрений растет, а тенденция смещается в сторону потребления экологически безопасных продуктов питания [8, с. 96].

Известно, что многие ризосферные виды рода *Bacillus*, а также представители других родов способствуют росту растений за счет увеличения доступности макроэлементов и производства фитогормонов [24, с. 2008].

В результате проведенного исследования была доказана способность штамма бактерий *Bacillus* sp. TO15c, выделенных из ризосферы *T. officinale*, продуцировать ИУК и солибилизировать фосфаты и выполнена оценка влияния этих PGPR на некоторые характеристики растений *panca* и почвы. Показано, что максимальный синтез ИУК приходился на стационарную фазу роста исследуемой бактериальной культуры. Это соответствует результатам других исследователей, полученных при изучении зависимости синтеза ауксинов от фазы роста бактериальной культуры [25]. Аналогичная тенденция наблюдалась и при оценке динамики солибилизации фосфатов.

Увеличение длины побега, листовой поверхности и биомассы *B. napus* при инокуляции почвы PGPR, свидетельствует о положительном влиянии

бактерий на рост и развитие рапса. Позитивное действие разных представителей рода *Bacillus* на рост и развитие растений было отмечено и другими авторами. Так, инокуляция ризобактериями *B. subtilis* увеличивала длину проростков *Solanum lycopersicum* на 17–45 % [26, с. 8]. Имеются данные об увеличении длины корня (на 14 %), длины побега (на 41 %), биомассы корней (на 75 %) и побегов (на 82 %) у томатов, инокулированных штаммом *B. subtilis* KA(1)5r [24, с. 2013]. Исследования, направленные на оценку влияния разных штаммов рода *Bacillus* на морфометрические характеристики *Capsicum annuum*, показали существенное увеличение длины проростков и корней [27, с. 6].

Следует отметить, что в нашем исследовании позитивный эффект PGPR на морфометрические параметры *B. napus* проявлялся в наибольшей степени при совместном внесении с азотным удобрением. Ранее было отмечено, что изученные бактерии способны фиксировать атмосферный азот, поскольку успешно размножились на агаризованной питательной среде Зака, не содержащей азота. Однако, очевидно, потребность растений в азоте была значительно выше того количества, которое могли обеспечить изученные PGPR.

Фотосинтез, азотфиксацию и почвообразование следует рассматривать как структурные компоненты одной системы, взаимодействующие друг с другом [28, с. 4]. При инокуляции почвы ризобактериями возрастало количество хлорофиллов и каротиноидов в листьях *B. napus*. При этом максимальное содержание всех фотосинтетических пигментов было обнаружено при совместном добавлении PGPR и азотного удобрения. Аналогичная закономерность была обнаружена нами ранее, при изучении эффектов биудобрения на основе силикатных бактерий на пигментный комплекс *Brassica juncea* [29, с. 148].

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что инокуляция почвы штаммом PGPR *Bacillus* sp. TO15c

способствовала увеличению длины побега, площади листовой поверхности, надземной и подземной биомассы *B. napus*. При этом возрастало содержание биогенных элементов в биомассе и фотосинтетических пигментов. Очевидно, дополнительное продуцирование бактериями регуляторов роста растений способствовало более активному развитию корневой системы, что приводило к более интенсивному поглощению биогенных элементов из почв. Солюбилизация фосфатов обеспечивала растения рапса доступным фосфором. Однако максимальный положительный эффект PGPR дости-

гался при их использовании совместно с азотным удобрением. Следовательно, биоудобрения на основе наиболее эффективных штаммов PGPR могут успешно применяться как самостоятельно, так и в качестве добавки к азотным удобрениям, в агропромышленном секторе для повышения устойчивости агроценозов и урожайности сельскохозяйственных культур.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292>.

Библиографический список

1. Aloo B. N., Tripathi V., Makumba B. A., Mbega E. R. Plant-growth promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article number 1002448. DOI: 10.3389/fpls.2022.1002448.
2. Yadav A. N., Verma P., Singh B., Chauhan V. S., Suman A., Saxena A. K. Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture // *Advances in Biotechnology and Microbiology*. 2017. Vol. 5 (5). Article number 555671. DOI: 10.19080/AIBM.2017.05.555671.
3. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Готовность к биологизации как субъективный фактор формирования устойчивых систем землепользования // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 06 (221). С. 68–77. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-68-77.
4. Соболева О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. № 5. С. 19–22. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10504.
5. Chandran H., Meena M., Sharma K. Microbial biodiversity and bioremediation assessment through omics approaches // *Frontiers of Environmental Chemistry*. 2020. Vol. 1. Article number 570326. DOI: 10.3389/fenvc.2020.570326.
6. Chandran H., Meena M., Swapnil P. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture // *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (19). Article number 10986. DOI: 10.3390/su131910986.
7. Aggani S. L. Development of bio-fertilizers and its future perspective // *Scholars Academic Journal of Pharmacy*. 2013. Vol. 2 (4). Pp. 327–332.
8. Gupta G., Parihar S. S., Ahirwar N. K., Snehi S. K., Singh V. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*. 2015. Vol. 7. Pp. 96–102. DOI: 10.4172/1948-5948.1000188.
9. Wagi S., Ahmed A. *Bacillus* spp.: potent microfactories of bacterial IAA // *Peer Journal*. 2019. Vol. 7. Article number e7258. DOI: 10.7717/peerj.7258.
10. Kiruthika S., Arunkumar M. A Comprehensive study on IAA production by *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus subtilis* and its effect on *Vigna radiata* plant growth // *Indian Journal of Agricultural Research*. 2021. Vol. 55 (5). Pp. 570–576. DOI: 10.18805/IJAR.A-5521.
11. Khan M. S., Gao J., Chen X., Zhang M., Yang F., Du Y., Moe T. S., Munir I., Xue J., Zhang X. The endophytic bacteria *Bacillus velezensis* L1e-9, isolated from *Lilium leucanthum*, harbors antifungal activity and plant growth-promoting effects // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020. Vol. 30 (5). Pp. 668–680. DOI: 10.4014/jmb.1910.10021.
12. Voropaeva O. V., Maleva M. G., Borisova G. G. Estimation of plant growth promoting activity of silicate solubilizing rhizobacteria for use in agricultural biotechnology // *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 2390. Article number 030097. DOI: 10.1063/5.0069228.
13. Kumar A., Borisova G., Maleva M., Tripti, Shiryaev G., Tugbaeva A., Sobenin A., Kiseleva I. Biofertilizer based on biochar and metal-tolerant plant growth promoting rhizobacteria alleviates copper impact on morphophysiological traits in *Brassica napus* L. // *Microorganisms*. 2022. Vol. 10. Article number 2164. DOI: 10.3390/microorganisms10112164.
14. Kumar A., Tripti, Voropaeva O., Maleva M., Panikovskaya K., Borisova G., Rajkumar M., Bruno L.B. Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas lurida* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus* // *Chemosphere*. 2021. Vol. 266. Article number 128983. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.
15. Prakash J., Arora N. K. Phosphate-solubilizing *Bacillus* sp. enhances growth, phosphorus uptake and oil yield of *Mentha arvensis* L. // *3 Biotech*. 2019. Vol. 9. Article number 126. DOI: 10.1007/s13205-019-1660-5.

16. Определитель бактерий Берджи: В 2 т. / Пер. с англ. ; под ред. Дж. Хоулта [и др.]. Москва: Мир, 1997. Т. 2. 368 с.
17. Селибер Г. Л. Большой практикум по микробиологии. Москва: Высшая школа, 1962. 492 с.
18. Воропаева О. В., Борисова Г. Г., Малева М. Г., Подставкина А. В., Еромошин А. А., Тугбаева А. С., Филимонова Е. И. Ростстимулирующая активность и металлоустойчивость изолятов бактерий из ризосферы орхидеи *Epipactis atrorubens*, произрастающей на серпентинитовых субстратах Среднего Урала // Журнал Сибирского федерального ун-та. Биология. 2022. Т. 15 (3). С. 297–313. DOI: 10.17516/1997-1389-0389.
19. Кульнева Н. Г., Гойкалова О. Ю., Шматова А. И. Исследование бактериостатических свойств хлорсодержащего препарата для свеклосахарного производства // Вестник ВГУИТ. 2014. № 4. С. 187–190.
20. Демьянова Е. И. Ботаническое ресурсосведение: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2007. 172 с.
21. Биохимия: практикум: учебно-методическое пособие / Сост. Г. Г. Борисова, Н. В. Чукина, И. С. Киселева, М. Г. Малева. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2017. 116 с.
22. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
23. Lichtenthaler H., Babani F. Contents of photosynthetic pigments and ratios of chlorophyll a/b and chlorophylls to carotenoids (a+b) (x+c) in C₄ plants as compared to C₃ plants // Photosynthetica. 2021. Vol. 60. Pp. 1–7. DOI: 10.32615/ps.2021.041.
24. Minakshi, Sharma S., Sood G., Chauhan A. Optimization of IAA production and P-solubilization potential in *Bacillus subtilis* KA(1)5r isolated from the medicinal herb *Aconitum heterophyllum*-growing in western Himalaya, India // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2020. Vol. 9 (1). Pp. 2008–2015.
25. Ковалевская Н. П., Шаравин Д. Ю. Биорегуляторная активность ассоциативных азотфиксирующих бактерий, выделенных из техногенно-засоленных почв // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17441> (дата обращения: 03.03.2023).
26. Cabello A. J. C., Olivas F. A., Portugal O. V., Valdés A. R., Alcalá L. E. I. Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth // Revista Bio Ciencias. 2019. Vol. 6. Article number e418. DOI: 10.15741/revbio.06.e418.
27. Widowati T., Nuriyanah, Nurjanah L., Lekatompessy S. J. R., Simarmata R. Bioproduction of indole acetic acid by endophytic bacteria of *Bacillus* strains isolated from chili (*Capsicum annum* L.) and its potential for supporting the chili seedlings // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2606. Article number 020018. DOI: 10.1063/5.0118396.
28. Овсянников Ю. А. О единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования // Аграрный вестник Урала. 2022. № 01 (216). С. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46.
29. Борисова Г. Г., Воропаева О. В., Малева М. Г., Лыкова О. В. Биоудобрения на основе силикатных бактерий повышает продуктивность почв и культурных растений (на примере *Brassica juncea* (L.) Czern.) // Субтропическое и декоративное садоводство. 2022. № 80. С. 140–151. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-140-151.

Об авторах:

Галина Григорьевна Борисова¹, доктор географических наук, профессор кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий, ORCID 0000-0001-6663-9948, AuthorID 64374; +7 908 902-26-00,

G.G.Borisova@urfu.ru

Ольга Викторовна Воропаева¹, ассистент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий, ORCID 0000-0002-5055-797X, AuthorID 1124917; +7 912 223-18-84, olga.voropaeva@urfu.ru

Мария Георгиевна Малева¹, кандидат биологических наук, доцент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий, ORCID 0000-0003-1686-6071, AuthorID 152548; +7 912 248-77-26,

maria.maleva@mail.ru

Адарш Кумар¹, PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологий поддержания и восстановления компонентов природных и трансформированных биосистем, ORCID 0000-0001-5343-0117;

+7 982 735-06-36, adarsh.biorem@gmail.com

Трипти¹, PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологий поддержания и восстановления компонентов природных и трансформированных биосистем, ORCID 0000-0001-7184-5850;

+7 912 630-54-02, tripti.academic@gmail.com

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

Evaluation of the growth-promoting attributes of rhizobacteria *Bacillus* sp. and their influence on the morphophysiological characteristics of rapeseed

G. G. Borisova¹, O. V. Voropaeva¹, M. G. Maleva^{1✉}, A. Kumar¹, Tripti¹

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

✉E-mail: maria.maleva@mail.ru

Abstract. The use of biofertilizers based on plant growth promoting (PGP) bacteria is a promising direction in agrobiotechnology. **The purpose** was to evaluate the PGP-attributes of *Bacillus* sp. and to reveal the morphophysiological features of rapeseed (*Brassica napus* L.) when inoculated with these rhizobacteria. **Methods.** The ability of *Bacillus* sp. strain TO15c isolated from the rhizosphere of *Taraxacum officinale* on Zack's nitrogen-free medium to produce indol-3-acetic acid (IAA) and phosphates was studied. In pot-scale experiments, the assessment of changes in the morphophysiological characteristics of rapeseed upon inoculation with rhizobacteria both in the absence and in the presence of nitrogen fertilizer was performed. At the end of 100-day vegetation, shoot length, total leaf area, fresh biomass, content of macronutrients and photosynthetic pigments were determined. **Results.** The ability of TO15c to produce IAA (up to 26 mg/L) and solubilize phosphate (up to 60 mg/L) has been proven. Soil inoculation with rhizobacteria in the presence of ammonium nitrate led to the increase in shoot length by 24 % and total leaf area by 16 %. The aboveground fresh biomass increased by 1.5 times, the underground by 2.5 times, and the content of macronutrients improved. The rise in the photosynthetic pigment content (1.5 times on average) was also noted when inoculated with TO15c. The maximum effect was achieved with the rhizobacteria and nitrogen fertilizer combined application. **Scientific novelty.** The effectiveness of *Bacillus* sp. TO15c on rapeseed increased in the presence of nitrogen fertilizer, despite the fact that these PGPR were able to fix atmospheric nitrogen.

Keywords: *Brassica napus*, bacterial biofertilizer, plant-microbial interactions, indol-3-acetic acid, phosphate solubilization, macronutrients, photosynthetic pigments.

For citation: Borisova G. G., Voropaeva O. V., Maleva M. G., Kumar A., Tripti. Otsenka rostostimuliruyushchikh svoystv rizobakteriy *Bacillus* sp. i ikh vliyaniye na morfofiziologicheskiye kharakteristiki rapsa [Evaluation of the growth-promoting attributes of rhizobacteria *Bacillus* sp. and their influence on the morphophysiological characteristics of rapeseed] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-2-13.

Date of paper submission: 05.03.2023, **date of review:** 25.03.2023, **date of acceptance:** 03.04.2023.

References

1. Aloo B. N., Tripathi V., Makumba B. A., Mbega E. R. Plant-growth promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article number 1002448. DOI: 10.3389/fpls.2022.1002448.
2. Yadav A. N., Verma P., Singh B., Chauhan V. S., Suman A., Saxena A. K. Plant growth promoting bacteria: biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture // *Advances in Biotechnology and Microbiology*. 2017. Vol. 5 (5). Article number 555671. DOI: 10.19080/AIBM.2017.05.555671.
3. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Gotovnost' k biologizatsii kak sub'ektivnyy faktor formirovaniya ustoychivyykh sistem zemlepol'zovaniya [Readiness for biologization as a subjective factor of formation of sustainable land-utilization systems in agriculture] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. No. 06 (221). Pp. 68–77. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-68-77. (In Russian.)
4. Soboleva O. M. Rol' rizosfernykh bakteriy v povyshenii ekologizatsii agrotsenozov [Role of rhizosphere bacteria in enhancing the biologization of agrocenosis] // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018. Vol. 32. No. 5. Pp. 19–22. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10504. (In Russian.)
5. Chandran H., Meena M., Sharma K. Microbial biodiversity and bioremediation assessment through omics approaches // *Frontiers of Environmental Chemistry*. 2020. Vol. 1. Article number 570326. DOI: 10.3389/fenvc.2020.570326.
6. Chandran H., Meena M., Swapnil P. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture // *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (19). Article number 10986. DOI: 10.3390/su131910986.

7. Aggani S. L. Development of bio-fertilizers and its future perspective // Scholars Academic Journal of Pharmacy. 2013. Vol. 2 (4). Pp. 327–332.
8. Gupta G., Parihar S. S., Ahirwar N. K., Snehi S. K., Singh V. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. Journal of Microbial and Biochemical Technology. 2015. Vol. 7. Pp. 96–102. DOI: 10.4172/1948-5948.1000188.
9. Wagi S., Ahmed A. *Bacillus* spp.: potent microfactories of bacterial IAA // Peer Journal. 2019. Vol. 7. Article number e7258. DOI: 10.7717/peerj.7258.
10. Kiruthika S., Arunkumar M. A Comprehensive study on IAA production by *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus subtilis* and its effect on *Vigna radiata* plant growth // Indian Journal of Agricultural Research. 2021. Vol. 55 (5). Pp. 570–576. DOI: 10.18805/IJARE.A-5521.
11. Khan M. S., Gao J., Chen X., Zhang M., Yang F., Du Y., Moe T. S., Munir I., Xue J., Zhang X. The endophytic bacteria *Bacillus velezensis* LLe-9, isolated from *Lilium leucanthum*, harbors antifungal activity and plant growth-promoting effects // Journal of Microbiology and Biotechnology. 2020. Vol. 30 (5). Pp. 668–680. DOI: 10.4014/jmb.1910.10021.
12. Voropaeva O. V., Maleva M. G., Borisova G. G. Estimation of plant growth promoting activity of silicate solubilizing rhizobacteria for use in agricultural biotechnology // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2390. Article number 030097. DOI: 10.1063/5.0069228.
13. Kumar A., Borisova G., Maleva M., Tripti, Shiryayev G., Tugbaeva A., Sobenin A., Kiseleva I. Biofertilizer based on biochar and metal-tolerant plant growth promoting rhizobacteria alleviates copper impact on morphophysiological traits in *Brassica napus* L. // Microorganisms. 2022. Vol. 10. Article number 2164. DOI: 10.3390/microorganisms10112164.
14. Kumar A., Tripti, Voropaeva O., Maleva M., Panikovskaya K., Borisova G., Rajkumar M., Bruno L. B. Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas lurida* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus* // Chemosphere. 2021. Vol. 266. Article number 128983. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.
15. Prakash J., Arora N. K. Phosphate-solubilizing *Bacillus* sp. enhances growth, phosphorus uptake and oil yield of *Mentha arvensis* L. // 3 Biotech. 2019. Vol. 9. Article number 126. DOI: 10.1007/s13205-019-1660-5.
16. Oprelitel' bakteriy Berdzhi: V 2 t. [Burgey's Bacteria Determinant: In 2 vol.] / Translate from English ; under the editorship of J. Hoult et al. Moscow: Mir, 1997. Vol. 2. 368 p. (In Russian.)
17. Seliber G. L. Bol'shoy praktikum po mikrobiologii [Big workshop on microbiology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1962. 492 p. (In Russian.)
18. Voropaeva O. V., Borisova G. G., Maleva M. G., Podstavkina A. V., Ermoshin A. A., Tugbaeva A. S., Filimonova E. I. Roststimuliruyushchaya aktivnost' i metalloustoychivost' izolyatov bakteriy iz rizosfery orkhidei *Epipactis atrorubens*, proizrastayushchey na serpentinitovykh substratakh Srednego Urala [Plant growth promoting activity and metal tolerance of bacteria isolated from rhizosphere of the orchid *Epipactis atrorubens* growing on serpentine substrates of the Middle Urals] // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2022. Vol. 15 (3). Pp. 297–313. DOI: 10.17516/1997-1389-0389. (In Russian.)
19. Kul'neva N. G., Goykalova O. Yu., Shmatova A. I. Issledovanie bakteriostaticheskikh svoystv khlorosoderzhashchego preparata dlya sveklosakharnogo proizvodstva [Investigation of bacteriostatic properties of chlorinated compounds for beet-sugar industry] // Proceedings of VSUET. 2014. No. 4. Pp. 187–190. (In Russian.)
20. Dem'yanova E. I. Botanicheskoe resursovedenie: ucheb. posobie po spetskursu [Botanical resource science: a textbook for a special course]. Perm: Perm. gos. un-t, 2007. 172 p. (In Russian.)
21. Biokhimiya: praktikum: uchebno-metodicheskoe posobie [Biochemistry: workshop: teaching aid] / Compilers G. G. Borisova, N. V. Chukina, I. S. Kiseleva, M. G. Maleva. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo un-ta, 2017. 116 p. (In Russian.)
22. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
23. Lichtenthaler H., Babani F. Contents of photosynthetic pigments and ratios of chlorophyll a/b and chlorophylls to carotenoids (a+b) (x+c) in C₄ plants as compared to C₃ plants // Photosynthetica. 2021. Vol. 60. Pp. 1–7. DOI: 10.32615/ps.2021.041.
24. Minakshi, Sharma S., Sood G., Chauhan A. Optimization of IAA production and P-solubilization potential in *Bacillus subtilis* KA(1)5r isolated from the medicinal herb *Aconitum heterophyllum*-growing in western Himalaya, India // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2020. Vol. 9 (1). Pp. 2008–2015.
25. Kovalevskaya N. P., Sharavin D. Yu. Bioregulyatornaya aktivnost' assotsiativnykh azotfiksiruyushchikh bakteriy, vydelennykh iz tekhnogenno-zasolennykh pochv [Bioregulatory activity of associative nitrogen-fixing bacteria isolated from technogenically saline soils] [e-resource] // Modern problems of science and education. 2015. No. 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17441> (date of access: 03.03.2023). (In Russian.)

26. Cabello A. J. C., Olivas F. A., Portugal O. V., Valdés A. R., Alcalá L. E. I. Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth // Revista Bio Ciencias. 2019. Vol. 6. Article number e418. DOI: 10.15741/revbio.06.e418.
27. Widowati T., Nuriyanah, Nurjanah L., Lekatompessy S. J. R., Simarmata R. Bioproduction of indole acetic acid by endophytic bacteria of *Bacillus* strains isolated from chili (*Capsicum annuum* L.) and its potential for supporting the chili seedlings // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2606. Article number 020018. DOI: 10.1063/5.0118396
28. Ovsyannikov Yu. A. O edinstve protsessov fotosinteza, azotfiksatsii i pochvoobrazovaniya [On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 01 (216). Pp. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46. (In Russian.)
29. Borisova G. G., Voropaeva O. V., Maleva M. G., Lykova O. V. Bioudobreniya na osnove silikatnykh bakteriy povyshayet produktivnost' pochv i kul'turnykh rasteniy (na primere *Brassica juncea* (L.) Czern.) [Biofertilizer based on silicate bacteria increases the productivity of soils and cultivated plants (on the example of *Brassica juncea* (L.) Czern.)] // Subtropical and ornamental horticulture. 2022. Vol. 80. Pp. 140–151. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-140-151. (In Russian.)

Authors' information:

Galina G. Borisova¹, doctor of geographical sciences, professor of department of experimental biology and biotechnologies, ORCID 0000-0001-6663-9948, AuthorID 64374; +7 908 902-26-00, G.G.Borisova@urfu.ru

Olga V. Voropaeva¹, assistant of department of experimental biology and biotechnologies,

ORCID 0000-0002-5055-797X, AuthorID 1124917; +7 912 223-18-84, olga.voropaeva@urfu.ru

Maria G. Maleva¹, candidate of biological sciences, associate professor of department of experimental biology and biotechnologies, ORCID 0000-0003-1686-6071, AuthorID 152548; +7 912 248-77-26, maria.maleva@mail.ru

Adarsh Kumar¹, PhD, leading researcher at the laboratory “Biotechnologies for maintaining and restoring components of natural and transformed biosystems”, ORCID 0000-0001-5343-0117; +7 982 735-06-36, adarsh.biorem@gmail.com

Tripti¹, PhD, leading researcher at the laboratory “Biotechnologies for maintaining and restoring components of natural and transformed biosystems”, ORCID 0000-0001-7184-5850; +7 912 630-54-02,

tripti.academic@gmail.com

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

Viability of seeds and adaptability of early-maturing hybrids of corn in the conditions of the Southern Urals

A. G. Gorbacheva¹, I. A. Vetoshkina^{1✉}, A. E. Panfilov²

¹All-Russian research scientific institute of corn, Pyatigorsk, Russia

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

✉E-mail: vet-ira2014@yandex.ru

Abstract. The purpose is to study and identify the best high-yielding with rapid loss of grain moisture during ripening, ecologically plastic and stable corn hybrids adapted to the conditions of the Southern Urals. **Methods.** The studies were carried out in 2017–2020 in the North Caucasian and Ural regions of the Russian Federation at the earliest and optimal sowing dates, taking into account the temperature regime of the soil. Eight new early-ripening maize hybrids of the FSBSI ARRSI of corn breeding in 2016 were studied. Laboratory seed germination was determined at a temperature of +20 °C according to the method of V. S. Sotchenko and others and by cold germination in filter paper rolls after each year of storage. Field germination was determined by counting the number of seedlings after sowing. Plasticity and stability were calculated according to the method of S. F. Eberhart, W. F. Russel. **Results.** After four years storage of corn hybrids Nur and Mashuk 170 MV, the laboratory germination of seeds remained at the level of 98–99 % with cold germination. In the conditions of the Ural region, the hybrids Baikal and Mashuk 171 became ecologically plastic and productive, referring to high intensity forms. The hybrids with the lowest grainharvesting moisture for all the years of studying Bilyar 160 (27.0 %) and Ural'skiy 150 (27.5 %) were identified as adapted for growing for grain in the Ural region. **Scientific novelty.** For the first time, a variety test of new early-ripening maize hybrids bred by FSBSI ARRSI of corn was carried out in two ecological and geographical points. The results of the study of ecological plasticity, adaptability to natural and climatic conditions, yield, harvest moisture content of grain, preservation of the viability of seeds of hybrids during storage will make it possible to identify the most adaptive early-ripening hybrids according to a set of characteristics for the conditions of the Ural region.

Keywords: corn hybrids, grain yield, grain harvesting moisture, ecological plasticity, stability, plant height.

For citation: Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Panfilov A. E. Viability of seeds and adaptability of early-maturing hybrids of corn in the conditions of the Southern Urals // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 14–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-14-21.

Date of paper submission: 09.06.2022, **date of review:** 18.11.2022, **date of acceptance:** 27.11.2022.

Introduction

Modern hybrids of corn make it possible to significantly expand crops to the north of the border of its traditional cultivation and harvest grain up to 57° north latitude. In 2020, the area of corn cultivation for grain in Russia amounted to about 2.5 million hectares, for silage – 1.4 million hectares. Corn grain was harvested in amount of 13.9 million tons. Over the past 10 years, they have grown by 35.9 % or by 3.7 million tons. The corn grain harvest for grain in 2020 approached 5.1 t/ha. Yield growth over the past 10 years amounted to 17.1 % or 0.7 t/ha.

The main share of acreage under corn for grain is concentrated in the Southern and North Caucasian federal districts. Currently, the second Corn Belt has been formed in the Central Black Earth Region, and interest in this crop has also been noted in the northern corn-

sowing zone, including the Ural-Siberian region. This is due to the rather high productivity potential of corn. In the conditions of the Chelyabinsk region, the average grain yield, provided with heat and moisture resources, ranges from 4.3–5.0 t/ha in the northern forest-steppe to 4.6–5.2 t/ha in the steppe zone [1; 2]. A significant expansion of sown areas for corn cultivated both for grain and for silage, requires a reasonable selection of hybrids for a particular zone and the development of elements of varietal agricultural technology that ensures the effective realization of their potential.

The question of the hybrids resistance to environmental factors that limit the formation of potential productivity is brought to the fore. This problem is especially relevant in areas with a sharp manifestation of adverse weather conditions. Thus, the Southern and Middle Urals are characterized by significant long-term

and seasonal fluctuations in air and soil temperatures; therefore, resistance to cooling temperatures and sub-optimal temperatures is among the adaptive traits of hybrids [3]. The cold resistance of corn is implemented through various mechanisms, in particular, through an increased level of unsaturated fatty acids in the embryo, a pool of “stress mRNA”, a high content of prolamins and their intensive hydrolysis during seed germination, and other features of plant biochemistry and physiology [4; 5]. The listed traits vary widely in the corn gene pool, which provides the source material in the breeding process for cold resistance [6].

The second most important source of stress for corn plants is periodic aridity, the probability of which in the Ural region ranges from 25 to 40 % in the northern forest-steppe to 60–70 % in the steppe zone. Therefore, the drought resistance of hybrids is a necessary condition for the realization of the genetic corn potential. This feature also belongs to the widely varying ones and is realized due to the powerful initial growth of the root system, the high ability to retain moisture in the cells of the parenchyma, the increased concentration of chlorophyll “b”, the stable rate of carboxylation, the ability to quickly switch to levels of transpiration of different intensity [7–9].

Taking into account the above, the study of the hybrids reaction to stress is a very topical issue [10]. At the same time, the traits that determine the corn adaptability to negative environmental factors are polygenic, which makes it difficult to directly assess them in the field [11]. Therefore, the task of studying the rate of reaction of genotypes (varieties) to changes in external conditions can be reduced to assessing their ecological plasticity and stability.

Ecological plasticity is understood as the ability of a genotype to form high yields, good quality under various conditions, and respond to improved cultivation technology. The most effective is the selection and evaluation of the source material in terms of adaptability parameters on ecobackgrounds. In this regard, it is of particular practical interest to study the timing of sowing in various ecological and geographical points, as backgrounds that contribute to the selection of forms that combine productivity and environmental stability. With the introduction of new corn hybrids with high productivity potential into production, the issue of stabilizing their yield became acute [12–14].

The purpose of this work is to study a set of early maturing and hybrids (FAO 150-185), to assess their ecological plasticity and stability of the manifestation of productive potential in two geographical points of research for further practical use.

Methods

We studied 8 corn hybrids of the FSBSI ARRSI of corn breeding FAO 150–185 of the 2016 harvest, which underwent complete seed preparation at the corn-sizing plant. The seeds were stored in a warehouse at the plant

and were sown annually in 2017–2020 on the experimental fields of the ARRSI of corn in the settlement Pyatigorskiy, Predgornyy district, Stavropol region and in the South Ural SAU in the settlement Miasskoe, Krasnoarmeyskiy district, Chelyabinsk region, with two sowing dates (early and optimal in terms of the temperature regime of each region). An ecological test was carried out according to a single method on plots with an accounting area of 23.5 m² in three repetitions according to a single method [15]. Phenological observations were made, the yield was recorded with the determination of the harvesting moisture content in the grain, and plants height was measured. The laboratory germination of seeds after each year of storage was studied at +20 °C, as well as by the cold germination method (cold test) – 4 days at +10 °C and then 7 days at +20 °C [16]. Field germination was assessed in the field by counting the number of shoots that appeared.

The weather conditions during the years of the experiments at the points varied considerably. At the ARRSI of corn in 2017, the amount of precipitation in May was 218 mm, which was half of the precipitation during the growing season. The abundance of precipitation in May was accompanied by lower average daily air temperatures. From June to September, the average daily air temperature was close to the average long-term values. In 2018, the temperature background in May, June and July exceeded the long-term average by 3.3–3.7 °C, the amount of precipitation was lower than the long-term average values. Hot weather conditions in 2018 and a lack of precipitation during flowering and grain filling led to an increase in infertility in all studied hybrids. The weather conditions for the entire growing season of 2019 were quite favorable for the formation of a corn grain crop. In 2020, the average air temperature regime for the period May–September exceeded the long-term average by 2.3 °C. In April, June, July and September there was a lack of precipitation. In the first and second ten days of May and the first ten days of August, the amount of precipitation exceeded the long-term average by 26 and 36 mm, respectively.

In the South Ural SAU, the vegetation conditions of 2017 were generally characterized by an uneven distribution of heat and precipitation. The largest amount of precipitation (113 mm) fell in June, warm weather was established only from the third decade of July. In May and June 2018, the temperature background was below the long-term average by 1.4–1.8 °C. In July, there was a sharp increase in air temperature to an average of 20.2 °C and was accompanied by atmospheric drought. The greatest amount of precipitation fell in August against a typical temperature background. September is warm and dry. In 2019, the lack of heat was observed in the third decade of May – the first half of June, in addition, the entire growing season took place against the background of dry phenomena: the total precipitation deficit for May–September was 61 mm. The 2020 sea-

son as a whole was characterized by a long atmospheric drought. Effective precipitation began only on July 22nd. Thus, from the third decade of June to the second decade of July, corn plants experienced the most acute lack of moisture.

The soils of the experimental plot of the ARRSI of corn are ordinary calcareous thick heavy loamy chernozem, the South Ural SAU – ordinary medium-thick medium-humus heavy loamy chernozem with a humus content in the arable layer, respectively, 4.7 and 7.6 %.

The adaptive abilities of hybrids were determined according to the methods [17].

Results

The first sowing date at the ARRSI of corn fell at the end of the first – the beginning of the second decade of April, the second – at the end of the third decade of this month. In the South Ural SAU the sowing of the first period was carried out at the end of the third decade of April, the second – in the second decade of May (Table 1).

Seedlings appeared at the ARRSI of corn, respectively, at the end of the third decade of April and at the

end of the first decade of May; in the South Ural SAU at the end of the second – the middle of the third decade of May and the second term – at the end of the third decade of May and the beginning of the first decade of June.

After each year of storage, the sowing qualities of seeds were studied. In 2020, after four years of storage, the laboratory germination of corn hybrids seeds of Nur and Mashuk 170 MV was 99 and 98 %, respectively, even with cold germination. In other hybrids, this figure was in the range of 56–87 %. When seeds were germinated at +20 °C, only hybrids Ural'skiy 150 (88 %) and Bilyar 160 (79 %) turned out to be substandard. Field germination of hybrids at the ARRSI of corn in the first sowing period varied from 70 to 92 %, in the second from 85 to 97 %; in the South Ural SAU, respectively, 58–76 and 84–93 %. The lowest rates of field germination in both points of the study were found in the hybrid Bilyar 160. High coefficients of variation in the sowing qualities of seeds were noted in early sowing and cold germination (Table 2).

Table 1
Dates of sowing and emergence of corn hybrids at two dates (FSBSI ARRSI of corn, South Ural State Agrarian University, 2017–2020)

Year	First sowing date		Second sowing date	
	Sowing	Germination	Sowing	Germination
<i>ARRSI of corn</i>				
2017	04/12	04/30	04/28	05/08
2018	04/13	04/30	04/28	05/07
2019	04/08	05/03	04/29	05/11
2020	04/10	04/30	04/29	05/11
<i>South Ural State Agrarian University</i>				
2017	04/26	05/17	05/16	06/01
2018	05/02	05/26	05/17	06/02
2019	04/30	05/18	05/15	05/30
2020	04/24	05/21	05/14	05/28

Table 2
Laboratory and field germination of corn hybrids seeds of the harvest of 2016 after 4 years of storage, % (FSBSI ARRSI of corn, South Ural SAU, 2020)

Hybrid	Laboratory germination, %		Field germination, %			
	At +20 °C	Cold-test	ARRSI of corn		South Ural SAU	
			First sowing date	Second sowing date	First sowing date	Second sowing date
<i>Mashuk 150 MV</i>	93	87	80	91	69	89
<i>Nur</i>	99	99	92	97	76	91
<i>Bilyar 160</i>	79	56	46	71	55	70
<i>Ural'skiy 150</i>	88	83	70	85	70	85
<i>Mashuk 170 MV</i>	99	98	85	96	67	93
<i>Mashuk 171</i>	94	84	82	94	71	89
<i>Baykal</i>	95	81	78	87	67	84
<i>Mashuk 185 MV</i>	93	81	82	90	58	86
<i>Variation coefficient, %</i>	7.0	15.9	18.1	9.4	10.4	8.3

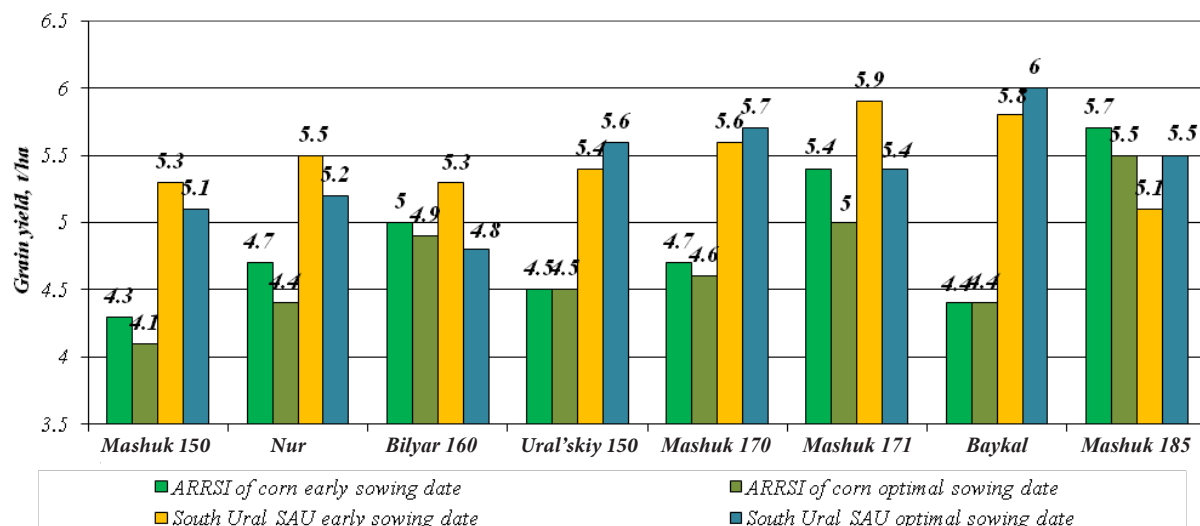


Fig. 1. The grain yield of corn hybrids at two test points at two sowing dates, t/ha, (FSBSI ARRSI of corn, South Ural SAU, on average for 2017–2020)

Table 3
Ecological plasticity and stability of corn hybrids (FSBSI ARRSI of corn, South Ural State Agrarian University, 2017–2020)

Hybrid	Plasticity, b_i				Stability, S_i^2			
	First sowing date		Second sowing date		First sowing date		Second sowing date	
	ARRSI of corn	South Ural SAU	ARRSI of corn	South Ural SAU	ARRSI of corn	South Ural SAU	ARRSI of corn	South Ural SAU
Mashuk 150 MV	0.15	0.84	0.72	0.56	0.16	0.72	0.19	0.07
Nur	0.87	0.83	0.37	1.16	0.29	0.12	0.29	0.55
Bilyar 160	0.96	1.29	1.27	0.78	0.13	0.01	0.03	0.64
Ural'skiy 150	1.22	0.91	0.97	1.12	0.32	0.15	0.003	0.24
Mashuk 170 MV	1.21	0.98	0.92	0.65	0.20	0.05	1.90	0.70
Mashuk 171	1.32	1.21	1.11	1.06	0.05	0.05	0.22	0.15
Baykal	1.55	1.18	1.22	1.22	0.07	0.06	0.09	0.78
Mashuk 185 MV	1.22	0.96	1.45	1.46	0.33	0.008	0.05	0.04

The grain yield of corn hybrids largely depends on climatic conditions by year and test point. For all early ripening hybrids (except for Mashuk 185 MV), a higher grain yield on average over four years was obtained in the South Ural SAU. The most productive were corn hybrids Mashuk 170 MV, Mashuk 171 and Baikal with a grain yield from 5.4 to 6.0 t/ha at 14 % moisture. Early ripe hybrids better realize their potential for grain yield in the northern regions. In addition, there is a tendency for the influence of sowing dates on the grain yield. For most early ripening hybrids, early terms are preferred (Fig. 1).

The plasticity and stability of hybrids genotypes were assessed by the grain yield, as the most expressive trait. The resulting yield of corn hybrids reflects the effect of growing conditions on the plant in the complex, and it can be considered the main criterion in assessing ecological plasticity and stability. To assess the plasticity of hybrids in terms of grain yield, the linear regression coefficient (b_i) was calculated. Those genotypes with $b_i < 1$ and a stability indicator (S_i^2) close

to zero react weakly to improving external conditions (semi-intensive), but have fairly high yield stability. As follows from the calculation model of S. F. Eberhart, W. F. Russel (1966), the most valuable are those varieties in which $b_i > 1$, and S_i^2 tends to zero. Such hybrids are highly intensive. They are responsive to improving conditions and are characterized by stable yields. The combination of high plasticity and productivity is a particularly valuable quality of the hybrid. In our experience, among ecologically plastic forms, responsive to improving conditions, in which $b_i > 1$ in combination with a high average yield over the years, we can distinguish high-intensity hybrids: Bilyar 160, Mashuk 171 and Mashuk 185 MV (Fig. 1). Hybrids Ural'skiy 150, Mashuk 170 MV and Baykal have $b_i > 1$, in the context of all studied hybrids, a yield of 4.1–4.6 t/ha was obtained. (Table 3). Due to the fact that the regression coefficient of these hybrids is higher than one, they should be attributed to the intensive type, responding well to improved growing conditions. However, in years with unfavorable weather conditions, as well as

Table 4
Index of environmental conditions for the yield of hybrids (FSBSI ARRSI of corn, South Ural SAU, 2017–2020)

Locations	Years	Average grain yield, t/ha		Index of environmental conditions, I_j	
		First sowing date	Second sowing date	First sowing date	Second sowing date
ARRSI of corn	2017	4.90	4.77	0.03	0.09
	2018	4.26	3.82	-0.61	-0.86
	2019	4.88	5.02	0.01	0.34
	2020	5.45	5.11	0.58	0.43
South Ural SAU	2017	6.30	6.54	0.81	1.11
	2018	6.44	5.68	0.95	0.25
	2019	5.39	4.90	-0.10	-0.53
	2020	3.85	4.60	-1.64	-0.83

Агротехнологии

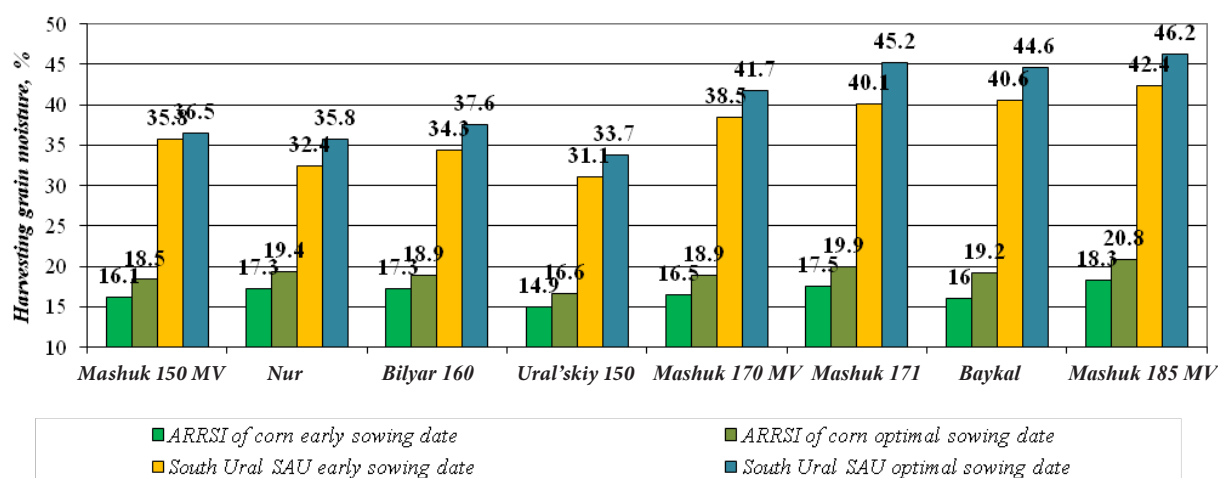


Fig. 2. Harvesting moisture content of corn hybrids, % (FSBSI ARRSI of corn, South Ural State Agrarian University, on average for 2017–2020)

on a low agricultural background, their productivity sharply decreases. Hybrids Mashuk 150 MV and Nur with low plasticity and grain yield are of no practical importance in the conditions of the south of Russia. They belong to extensive forms with low or reduced phenotypic stability.

Under the conditions of the Chelyabinsk region, the best ecologically plastic and productive, high-intensity hybrids became hybrids Baikal and Mashuk 171. Corn hybrids Nur, Ural'skiy 150, Mashuk 170 MV and Mashuk 185 MV with a linear regression coefficient $b_i > 1$ and an average grain yield of hybrids can be attributed to intensive phenotypically stable forms. Hybrids Mashuk 150 MV and Bilyar 160 are classified as extensive forms with low ecological plasticity.

The calculation of the indices of environmental conditions shows that in 2018, at the ARRSI of corn had relatively unfavorable conditions for realizing the potential of hybrids ($I_j = -0.61...-0.86$) at both sowing dates. In the South Ural SAU, similar conditions developed in 2019 ($I_j = -0.1...-0.53$) and 2020 ($I_j = -1.64...-0.83$) in the first and second sowing periods. This closely correlates with the low average grain yield for the entire set of hybrids (Table 4).

Harvesting grain moisture content of early ripening corn hybrids at the time of harvesting (1st decade of September) at the ARRSI of corn did not exceed 20.8 % on average for 4 years over the years of study. At the Institute of Agroecology, for the harvesting period (2nd decade of October), the harvesting grain moisture content for the same period did not fall below 31.1 % in the hybrid Ural'skiy 150. In other corn hybrids, the grain moisture content was higher (Fig. 2).

A detailed analysis of the grain moisture content of hybrids by years for the harvesting period is important for the South Ural region. The task is to identify hybrids that can achieve not only the physiological ripeness of the grain, but also the full one. Harvesting grain moisture in the first sowing period for the studied hybrids varied in 2017 within 30.4–41.3 %, in 2018 – 35.3–46.8 %, in 2019 – 30.6–41.2 %, in 2020 – 27.0–41.1 %; in the second sowing period, respectively: 33.7–44.7 %, 37.7–52.5 %, 32.2–49.7 %, 32.2–43.0 %. With regard to the harvesting grain moisture, the environmental conditions indices with negative values indicate favorable conditions for the moisture loss by the grain and, conversely, with positive ones, they indicate limited conditions that are unfavorable for grain ripening (Table 5).

An analysis of the index of environmental conditions indicates that in the South Ural region in 2018 the most unfavorable conditions for grain ripening developed both in the first and second sowing periods and in 2017 in the second sowing period ($I_j = 3.04$ and 6.68). Due to the lack of heat and late flowering in the early sowing period in 2018, only hybrids Nur, Mashuk 150 MV and Ural'skiy 150 reached physiological ripeness of grain at a moisture content of 35.3–36.5 %. The moisture content of other hybrids grain in the conditions of the Southern Urals was significantly higher and was in the range of 40.2–46.8 %.

The best conditions for grain maturation of hybrids developed in 2020 at both sowing dates ($I_j = -4.27$ and -1.01) and in the first sowing period in 2017 ($I_j = -2.38$). In 2020, in the corn hybrids Mashuk 150 MV, Nur, Bilyar 160 and Ural'skiy 150, grain moisture content did not exceed 33.2 % even in the second sowing period. The lowest values of this indicator for all the years of study were obtained in the hybrids Bilyar 160 (27.0 %) and Ural'skiy 150 (27.5 %).

The coefficient of variation in the plants height of corn hybrids by years at ARRSI of corn in the first sowing period was 6.4–8.3, in the second – 6.1–10.4; in the South Ural SAU, respectively – 7.0–14.5 and 7.2–14.0. The height of hybrid plants at ARRSI of corn for four years was 194–242 cm on average in the first sowing period and 190–234 cm in the second sowing period; in the South Ural SAU – 154–195 cm and 165–204 cm, respectively (Fig. 3).

The plants height of all hybrids in the conditions of the Southern Urals at early sowing turned out to be 22–48 cm lower compared to the same period in the North Caucasus. At the optimal sowing time, this difference was less and amounted to 4–30 cm for hybrids. Only the height of the plants of the corn hybrid Bilyar 160 turned out to be almost the same (190 cm). The shortest hybrids were Mashuk 150 MV and Nur. Figure 3 clearly shows the trend of increasing the height of plants of hybrids on average over 4 years by 4–14 cm in the first sowing period compared to the second in the North Caucasus region and by 9–14 cm in the second sowing period compared to the first in the Ural region.

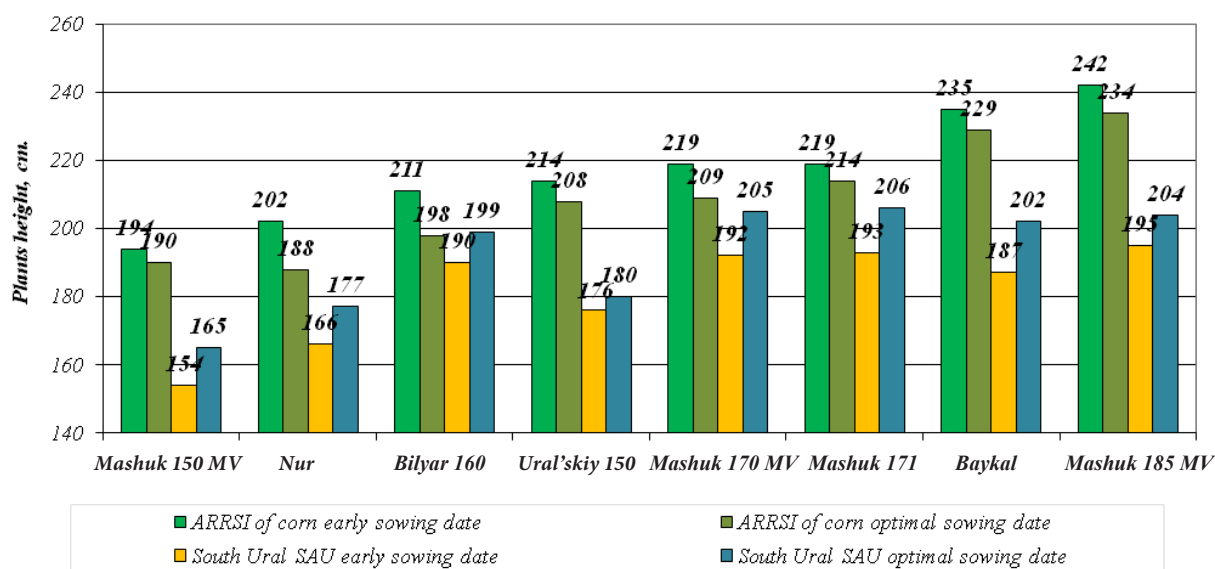


Fig. 3. Height of corn hybrids, cm (FSBSI ARRSI of corn, South Ural SAU, on average for 2017–2020)

Table. 5
Harvesting moisture content of corn hybrids, % (South Ural SAU, 2017–2020)

Hybrid	Harvesting moisture content of grain by years, %							
	First term				Second term			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
Mashuk 150 MV	31.6	36.5	34.4	30.8	33.7	40.8	38.7	33.0
Nur	30.4	35.8	33.7	29.9	33.7	38.9	37.6	33.2
Bilyar 160	36.1	40.2	34.1	27.0	39.7	43.4	36.3	31.2
Ural'skiy 150	31.2	35.3	30.6	27.5	33.8	37.7	32.2	31.2
Mashuk 170 MV	34.7	44.6	37.9	37.0	37.0	50.9	39.8	39.2
Mashuk 171	38.0	45.0	39.8	37.8	40.8	47.3	49.7	43.0
Baykal	41.3	43.1	40.3	37.6	44.7	44.8	47.9	41.0
Mashuk 185 MV	40.5	46.8	41.2	41.1	43.4	52.5	45.9	43.0
Environmental conditions index (I_j)	-2.38	3.04	-1.36	-4.27	0.49	6.68	-1.22	-1.01

Thus, the sowing seeds qualities are well preserved during storage of corn hybrids Nur and Mashuk 170 MV. Even after four years of storage, the laboratory germination of these seeds was at the level of 98–99 %. For almost all early-ripening hybrids, a higher grain yield on average over four years was obtained in the South Ural SAU. The most productive were corn hybrids Mashuk 170 MV, Mashuk 171 and Baykal with a grain yield of 5.4 to 6.0 t/ha at 14 % moisture. Under

the conditions of the Chelyabinsk region, the hybrids Baykal and Mashuk 171 became the best ecologically plastic and high-intensity. Mashuk 150 MV and Bilyar 160 hybrids turned out to be extensive forms with low ecological plasticity. The lowest values of the “harvesting grain moisture” indicator, on average for all the years of study, were obtained in corn hybrids Bilyar 160 (27.0 %) and Ural’skiy 150 (27.5 %).

References

1. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Vetoshkina I. A. Seed sowing qualities of corn parental forms depending on the storage conditions and terms // *Russian Agricultural Sciences*. 2018. No. 44 (6). Pp. 505–509. DOI: 10.1031/S1068367418060162. (In Russian.)
2. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Kazakova N. I., Vetoshkina I. A. Norma i stabil’nost’ reakt-sii rannespelykh gibridov kukuruzy na usloviya vegetatsii [The norm and stability of the response of early ripe corn hybrids to growing conditions] // *Kormoproizvodstvo*. 2020. No. 4. Pp. 39–43. (In Russian.)
3. Dronov A. V., Bel’chenko S. A., Lantsev V. V. Adaptivnost’ i urozhaynost’ gibridov kukuruzy razlichnykh po skorospelosti v usloviyakh Bryanskoy oblasti [Adaptability and productivity of corn hybrids of different early maturity in the conditions of the Bryansk region] // *Vestnik Bryanskoy sel’skokhozyaystvennoy akademii*. 2018. No. 5. Pp. 30–37. (In Russian.)
4. Dar A. A., Choudhury A. R., Kancharla P. K., Arumugam N. The FAD2 gene in plants: Occurrence, regulation, and role // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. Article number 1789. DOI: 10.3389/fpls.2017.01789.
5. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // *Genes*. 2019. Vol. 10 (6). Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445.
6. Panfilov A. E., Zezin N. N., Kazakova N. I., Namyatov M. A. Adaptive approach in maize breeding for the Urals Region // *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. 2020. Vol. 14. Pp. 55–62. DOI: 10.46300/91011.2020.14.9.
7. Akinwale R. O., Awosanmi F. E., Ogunniyi O. O., Fadoji A. O. Determinants of drought tolerance at seedling stage in early and extra-early maize hybrids [e-resource] // *Maydica*. 2017. Vol. 62. No. 1. URL: <https://www.researchgate.net/publication/317218497> (date of reference: 07.10.2020).
8. Nóia Júnior R. D. S., do Amaral G. C., Pezzopane J. E. M., Toledo J. V., Xavier T. M. T. Ecophysiology of c3 and c4 plants in terms of responses to extreme soil temperatures // *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 2018. Vol. 30. No. 3. Pp. 261–274. DOI: 10.1007/s40626-018-0120-7.
9. Ao S., Russelle M. P., Varga T., Feyereisen G. W., Coulter J. A. Drought tolerance in maize is influenced by timing of drought stress initiation // *Crop Science*. 2020. Vol. 60 (3). Pp. 1591–1606. DOI: 10.1002/csc2.20108.
10. Klimešová J, Holková L, Štěřda T, 2020. Drought stress response in maize: molecular, morphological and physiological analysis of tolerant and sensitive genotypes [e-resource] // *Maydica*. 2020. Vol. 65. No. 1. URL: <https://www.researchgate.net/publication/341294834> (date of reference: 23.11.2020).
11. Ma D., Xie R., Zhang F., Li J., Li Sh., Long H., Liu Yu., Guo Yi., Li. Sh.. Genetic contribution to maize yield gain among different locations in China [e-resource] // *Maydica*. 2015. Vol. 60. No. 1. Pp. 11–18. (date of reference: 23.11.2020).
12. Krivosheev G. Ya., Ignat’ev A. S. Ekologicheskoye ispytaniye novykh gibridov kukuruzy v usloviyakh razlichnoy vlagobespechennosti [Ecological testing of new corn hybrids under different moisture conditions] // *Zernovoye khozyaystvo Rossii*. 2018. No. 4. Pp. 3–7. (In Russian.)
13. Sotchenko V. S., Panfilov A. E., Gorbacheva A. G., Kazakova N. I., Vetoshkina I. A. Skorost’ poteri vlagi zernom kukuruzy v period sozrevaniya v zavisimosti ot genotipa i usloviy sredy [The rate of moisture loss in corn grain during the ripening period, depending on the genotype and environmental conditions] // *Sel’skokhozyaystvennaya biologiya*. 2021. No. 56 (1). Pp. 54–65. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.54rus. (In Russian.)
14. Sotchenko E. F., Orlyanskaya N. A., Sotchenko D. Yu. Sravnitel’naya otsenka novykh rannespelykh gibridov kukuruzy po urozhayu zerna i adaptivnosti. [Comparative evaluation of new early ripe corn hybrids in terms of grain yield and adaptability] // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2021. No. 99 (1). Pp. 46–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-1-99-46-54. (In Russian.)
15. Metodicheskkiye rekomendatsii po provedeniyu polevykh opytov s kukuruzoy. [Guidelines for conducting field experiments with corn]. Dnepropetrovsk: VNIi kukuruzy VASKHNIL, 1980. 54 p. (In Russian.)

16. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Solomko V. I. Metodika opredeleniya laboratornoy vskhozhesti i sily rosta semyan [Method for determining laboratory germination and vigor of seed growth] // Kukuruz i sorgo. 2021. No. 1. Pp. 12–24. DOI: 10.25715/o8981-6773-2383-a. (In Russian.)

17. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // CropScience. 1966. Vol. 6 (1). Pp. 36–40.

Authors' information:

Anna G. Gorbacheva¹, doctor of agricultural sciences, chief scientist of the maize primary seed division, ORCID 0000-0001-9936-4565, AuthorID 991627

Irina A. Vetoshkina¹, senior researcher of the maize primary seed department, ORCID 0000-0002-8040-7040, AuthorID 993945; vet-ira2014@yandex.ru

Aleksey E. Panfilov², doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, ORCID 0000-0001-5026-1274, AuthorID 404183; +7 909 0812114, al_panfilov@mail.ru

¹All-Russian research scientific institute of corn, Pyatigorsk, Russia

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

Жизнеспособность семян и адаптивность раннеспелых гибридов кукурузы в условиях Южного Урала

А. Г. Горбачева¹, И. А. Ветошкина¹✉, А. Э. Панфилов²

¹ВНИИ кукурузы, Пятигорск, Россия

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

✉E-mail: vet-ira2014@yandex.ru

Аннотация. Цель – изучить и выделить лучшие высокоурожайные с быстрой потерей влаги зерном при созревании, экологически пластичные и стабильные гибриды кукурузы, адаптированные к условиям Южного Урала. **Методы.** Исследования проводились в 2017–2020 гг. в Северо-Кавказском и Уральском регионах РФ при максимально ранних и оптимальных сроках посева с учетом температурного режима почвы. Изучены восемь новых раннеспелых гибридов кукурузы селекции ФГБНУ ВНИИК урожая 2016 г. Лабораторную всхожесть семян определяли при температуре +20 °С по методике В. С. Сотченко и др. и методом холодного проращивания в рулонах фильтровальной бумаги после каждого года хранения. Полевую всхожесть определяли путем подсчета количества всходов после посева. Пластичность и стабильность рассчитывали по методике S. F. Eberhart, W. F. Russel. **Результаты.** После четырех лет хранения гибриды кукурузы Нур и Машук 170 МВ сохранили лабораторную всхожесть семян на уровне 98–99 % при холодном проращивании. Высокоурожайными, экологически пластичными и стабильными, относящимися к высокоинтенсивным, стали гибриды Байкал и Машук 171. Гибриды кукурузы Нур, Уральский 150, Машук 170 и Машук 185 МВ при коэффициенте линейной регрессии $b_i > 1$ и среднем урожае зерна отнесены к интенсивным фенотипически стабильным формам. В качестве адаптированных для выращивания на зерно в Уральском регионе рекомендуются гибриды Биляр 160 (27,0 %) и Уральский 150 (27,5 %) с самой низкой уборочной влажностью зерна за все годы изучения. **Научная новизна.** Впервые проведено сортоиспытание новых раннеспелых гибридов кукурузы селекции ФГБНУ ВНИИК в двух эколого-географических пунктах. Результаты изучения экологической пластичности, адаптивности к природно-климатическим условиям, урожайности, уборочной влажности зерна, сохранение жизнеспособности семян гибридов в процессе хранения позволит выделить наиболее адаптивные раннеспелые гибриды по комплексу признаков для условий Уральского региона.

Ключевые слова: гибриды кукурузы, урожай зерна, уборочная влажность зерна, экологическая пластичность, стабильность, высота растений.

Для цитирования: Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Панфилов А. Э. Жизнеспособность семян и адаптивность раннеспелых гибридов кукурузы в условиях Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 14–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-14-21.

Дата поступления статьи: 09.06.2022, **дата рецензирования:** 18.11.2022, **дата принятия:** 27.11.2022.

Изучение перспективных сортов сорго сахарного

А. Е. Романюкин¹, Н. А. Ковтунова¹✉

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

✉ E-mail: n-beseda@mail.ru

Аннотация. Сорго сахарное в ряде крупных сельскохозяйственных регионов Российской Федерации с неустойчивым или недостаточным увлажнением становится реальной альтернативой традиционным кормовым культурам. Оно обладает высокой пластичностью и обеспечивает получение стабильного урожая зеленой массы на силос. Цель данной работы – оценка и характеристика перспективных сортов сорго сахарного селекции АНЦ «Донской». Методика. Научные исследования проводились с 2020 по 2022 гг. в АНЦ «Донской». Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым. Объектом исследований являлись 17 новых сортов, изучаемых в питомнике конкурсного испытания. Научная новизна заключается в изучении морфологических, биохимических и продуктивных показателей новых перспективных сортов сорго сахарного, выявление среди них наиболее адаптивных к условиям недостаточного (или неустойчивого) увлажнения Северного Кавказа. Результаты. В ходе исследований установлено, что при отборе сортов по хозяйственно ценным признакам следует учитывать, что только на продолжительность периода вегетации и количество листьев условия вегетации практически не оказывают влияния, остальные признаки могут значительно изменяться. По урожайности зеленой массы к наиболее стабильным относятся М ($V = 2,7\%$), ЗР-1/44 ($V = 7,3\%$), КЛ-12198/2 ($V = 8,2\%$), РС-124/19 ($V = 9,3\%$), Сахарное 105/3 ($V = 10,2\%$). В результате анализа показателей качества и продуктивности новых сортов сорго сахарного выделены Южное, Амазанит 301 и Феникс. Отмеченные сорта превзошли стандарт по урожайности зеленой массы на 4–13 т/га, сухого вещества на 2,9–4,3 т/га, сбору переваримого протеина на 0,24–0,36 т/га. Сорта Феникс и Южное, допущенные к использованию по Северо-Кавказскому, Центрально-Черноземному и Нижне-Волжскому регионам РФ, рекомендуются для широкого внедрения в сельскохозяйственное производство.

Ключевые слова: сорго сахарное, селекция, сорт, гибрид, урожайность, зеленая масса, сухое вещество.

Для цитирования: Романюкин А. Е., Ковтунова Н. А. Изучение перспективных сортов сорго сахарного // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 22–31. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-22-31.

Дата поступления статьи: 20.02.2023, **дата рецензирования:** 06.03.2023, **дата принятия:** 13.06.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Производство высококачественных и питательных кормов остается одной из приоритетных задач в аграрном секторе экономики Российской Федерации. На сегодняшний день кукуруза является универсальной (базовой) культурой, но диалектика природы такова, что в мире нет ничего постоянного. В засушливые годы кукуруза не всегда способна удовлетворять потребности кормопроизводства [1; 2]. Исходя из этого время диктует необходимость поиска и распространение альтернативных кормовых культур путем расширения биоразнообразия. Наравне с расширением ареала кукурузы, особенно в районы с меньшей влагообеспеченностью, активно внедряется кормовое сорго, в том числе сорго сахарное.

В России посевная площадь сорго в период с 1999 по 2019 гг. варьировала в очень широких пределах – от 8,7 до 228,6 тыс. га. При этом основная

часть посевов (93–98 %) приходится на Приволжский и Южный Федеральные округа. Среди регионов ЮФО выделяется Ростовская область, где посевы сорго варьируют от 46 до 69 % [3]. Для агроклиматических условий Северо-Кавказского региона России сорго не новая культура, но ее возделывание носит зачастую эпизодический характер. Особый интерес к культуре сорго возникает после ряда засушливых лет, поскольку сорго благодаря физиологическим особенностям растений и хорошо развитой корневой системой формирует высокий урожай при значительном недостатке влаги в почвенном покрове. Помимо исключительной засухоустойчивости, эта культура обладает необычной жаростойкостью, солевыносливостью и высокими кормовыми достоинствами [4; 5].

Сорго сахарное в ряде крупных сельскохозяйственных регионов Российской Федерации становится реальной альтернативой традиционным

кормовым культурам. За последние годы многие специалисты различных регионов Российской Федерации стали уделять должное внимание возделыванию сорго сахарного. В настоящее время имеется положительный опыт испытания сорго и внедрения его в северные регионы страны – Брянскую, Владимирскую, Калужскую, Костромскую, Курскую, Новгородскую, Смоленскую, Ульяновскую и другие области Российской Федерации [6; 7]. Культура обладает высокой пластичностью и обеспечивает получение стабильного урожая зеленой массы.

Главная задача работы, проводимой в лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, заключается в создании новых сортов и гибридов, отличающихся высокой урожайностью зеленой массы на силос и адаптивностью к условиям недостаточного увлажнения Северного Кавказа. Для решения данного вопроса в селекционной работе используются методы гибридизации на фертильной основе, многократное опыление метелок неоднородных гибридных популяций и целенаправленные отборы. Цель данной работы – оценка морфологических, биохимических и урожайных показателей перспективных сортов сорго сахарного селекции «АНЦ «Донской».

Научная новизна заключается в оценке новых перспективных сортов сорго сахарного, выявлении наиболее адаптивных к условиям недостаточного увлажнения не только исходя из показателей урожайности, но и качества, что, несомненно, следует учитывать в селекции сельскохозяйственных культур.

Методология и методы исследования (Methods)

Научные исследования проводились с 2020 по 2022 гг. на опытном участке научного севооборота лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового ФГБНУ «АНЦ «Донской». Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым. Закладка опытов и наблюдения проводились в соответствии с Методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [8]. В качестве стандарта использовался сорт сорго сахарного Зерноградский янтарь. Содержание сырого протеина определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93). Статистическую обработку данных осуществляли по методике Б. А. Доспехова (2014).

Объектом исследований являлись 17 новых сортов, изучаемых в питомнике конкурсного испытания.

Посев в 2020–2022 гг. был проведен в оптимальные сроки (1–2 декады мая) сеялкой «Клен-4,2» с нормой высева 200 тысяч всхожих семян на 1 га в четырехкратной повторности. Учетная площадь делянки – 25 м², расположение делянок систематическое.

В 2021 г. сложились благоприятные условия для появления всходов (температура выше среднемного-

голетних данных на 1,6 °С, количество осадков – на 13,7 мм). В результате всходы появились на 7-й день после посева в 2020 г. и на 9–10-й день в 2022 г. Высокая температура воздуха в июне 2022 г. (выше среднемноголетней на 1,6 °С) и июле 2021 г. (выше нормы на 3,6 °С) и отсутствие осадков в эти же периоды (соответственно 7,4 мм, или 10,4 % от нормы, и 24,6 мм, или 42,6 %) привели к сокращению периода «всходы-выметывание» на 10–15 дней (по сравнению с 2020 годом). Количество осадков в августе в годы исследований было на уровне среднемноголетних (45,2 мм) данных 44,7–51,1 мм, температура воздуха превышала норму на 1,5 (2020 г.) – 4,7 °С (2022 г.). То есть условия были благоприятными для формирования листостебельной массы. Уборка зеленой массы на силос проведена в конце августа – начале сентября, уборка семян – 10–20 сентября в 2020 г., 1–10 сентября в 2021–2022 гг.

Результаты (Results)

В таблице 1 приведена характеристика сортов сорго сахарного по основным хозяйственно-ценным показателям – продолжительности периода вегетации, высоте растений, длине и количеству листьев на растении.

По продолжительности вегетационного периода изучаемые сорта имели значения (2020–2022 гг.) 101–113 дней. Данный показатель является самым стабильным среди изученных, коэффициент вариации по сортам составил 3,6 %, по годам – не более 10 %.

Все сорта относятся к среднеспелой группе созревания. Наибольшие значения продолжительности периода «всходы – полная спелость» наблюдались у сортов ЗР-1/44 (113 дн.) и Феникс (111 дн.), наименьшие – у сортообразцов М (101 дн.), Северная вишня (102 дн.) и РС-124/19 (102 дн.), у стандарта 106 дн.

Высота растений в среднем за 2020–2022 гг. слабо варьировала по сортам ($V = 6,8 \%$), по годам коэффициент вариации имел значения от 1,6 до 22,0 %. Так, высота у сорта СК-44/1634 изменялась по годам от 169 до 245 см ($V = 19,4 \%$), у сорта СТ-20 – от 169 до 231 см ($V = 22,0 \%$). Практически все являются высокорослыми, кроме Северная вишня (197 см), Южное (198 см), СТ-20 (200 см), РС-124/19 (200 см), относящихся к среднерослым формам.

Наибольшие значения высоты растений (201–269 см при среднем значении 224 см), а также длины листьев (50–75 см, 61 см) наблюдались в 2021 г., чему способствовали благоприятные условия августа (осадков – на 13 %, или 5,9 мм выше среднемноголетних данных, температура воздуха выше на 17,8 %, или 3,9 °С). Ранее было установлено, что длина листа находится в сильной прямой связи с количеством осадков ($r = 0,78 \pm 0,05$), в более увлажненные годы она принимает максимальные значения [9].

Таблица 1
Характеристика основных количественных признаков сортов сорго сахарного, 2020–2022 г.

Сорт	Продолжительность вегетационного периода		Высота растений		Длина 3-го листа		Количество листьев	
	Среднее, дней	V, %	Среднее, см	V, %	Среднее, см	V, %	Среднее, шт.	V, %
Зерноградский янтарь, стандарт	106	6,3	188	12,1	55	11,8	10	7,5
Дебют	104	7,3	207	11,5	60	10,2	10	7,5
Южное	101	7,0	198	5,3	62	10,0	10	6,2
Феникс	111	4,5	211	9,9	55	16,6	14	7,5
ZP-1/44	113	7,5	246	2,6	55	12,9	14	4,2
СК-44/1634	106	8,2	217	19,4	52	5,6	12	4,3
РС-124/19	102	9,1	200	6,5	60	5,6	9	3,1
ZCP-441	105	6,1	203	10,8	55	8,4	11	9,1
КД-388	106	6,8	236	13,8	54	25,2	11	5,4
ДК-3868	103	7,3	206	12,2	61	9,5	10	2,8
Сахарное 105/3	109	8,8	224	7,9	60	1,7	11	4,5
ОК-1798	108	9,6	215	9,7	62	1,7	11	9,2
Северная вишня	102	8,7	197	5,0	61	17,5	10	7,8
КЛ-12198/2	104	6,7	209	1,6	66	16,5	10	5,0
Амазанит 301	108	7,7	212	4,3	57	10,1	13	6,0
М	101	6,3	211	7,7	60	0,0	11	6,7
СТ-20	106	7,4	200	22,0	54	15,7	11	6,7
Среднее	106		210		59		11	
s	3		14		4		1	
V, %	3,6		6,8		6,8		10,6	

Table 1
Characteristics of main quantitative traits of the sweet sorghum varieties, 2020–2022

Variety	Length of a vegetation period		Plant height		Third leaf's length		Number of leaves	
	Mean, days	V, %	Mean, cm	V, %	Mean, cm	V, %	Mean, pcs.	V, %
<i>Zernogradskiy yantar', standard</i>	106	6.3	188	12.1	55	11.8	10	7.5
<i>Debyut</i>	104	7.3	207	11.5	60	10.2	10	7.5
<i>Yuzhnoe</i>	101	7.0	198	5.3	62	10.0	10	6.2
<i>Feniks</i>	111	4.5	211	9.9	55	16.6	14	7.5
<i>ZR-1/44</i>	113	7.5	246	2.6	55	12.9	14	4.2
<i>SK-44/1634</i>	106	8.2	217	19.4	52	5.6	12	4.3
<i>RS-124/19</i>	102	9.1	200	6.5	60	5.6	9	3.1
<i>ZSR-441</i>	105	6.1	203	10.8	55	8.4	11	9.1
<i>KD-388</i>	106	6.8	236	13.8	54	25.2	11	5.4
<i>DK-3868</i>	103	7.3	206	12.2	61	9.5	10	2.8
<i>Sakharnoe 105/3</i>	109	8.8	224	7.9	60	1.7	11	4.5
<i>OK- 1798</i>	108	9.6	215	9.7	62	1.7	11	9.2
<i>Severnaya vishnya</i>	102	8.7	197	5.0	61	17.5	10	7.8
<i>KL-12198/2</i>	104	6.7	209	1.6	66	16.5	10	5.0
<i>Amazanit 301</i>	108	7.7	212	4.3	57	10.1	13	6.0
<i>M</i>	101	6.3	211	7.7	60	0.0	11	6.7
<i>ST-20</i>	106	7.4	200	22.0	54	15.7	11	6.7
<i>Average</i>	106		210		59		11	
<i>s</i>	3		14		4		1	
<i>V, %</i>	3.6		6.8		6.8		10.6	

Длина листа является маркерным показателем высокой урожайности, поэтому их можно использовать при отборе растений на продуктивность [10; 11]. Длина листа (3-го сверху) варьировала в среднем за годы исследования в пределах 52–66 см, $V = 6,8 \%$ (слабая изменчивость по сортам). Среди сортов наибольшей стабильностью отличились сорта М (0 %), ОК-1798 (1,7 %), Сахарное 105/3 (1,7 %), изменчивостью по годам – КД-388 (25,2 %). Максимальные значения наблюдались у сортов Северная вишня (61 см), ДК-3868 (61 см), ОК-1798 (62 см), КЛ-12198/2 (66 см).

Все сорта относятся к хорошо облиственным формам (более 9 листьев), кроме РС-124/19 (среднеоблиственный). По количеству листьев также отмечена стабильность по сортам ($V = 10,7 \%$), по годам коэффициент варьирования не превышал 10 %.

Для развития животноводства необходимо повышение в кормах содержания белка. При его недостатке в рационе животных при кормлении происходит перерасход кормов, и животноводство становится нерентабельным [12]. Поэтому при производстве кормов, а следовательно, и в селекции с кормовыми культурами большое значение имеет сбор протеина.

Содержание сырого протеина в сухом веществе зеленой массы – основной показатель качества корма [6; 12; 13]. У сортов оно варьировало от 6 до 9,7 %, причем сорта проявляли различную изменчивость данного признака по годам. Так, высокая стабильность отмечена у сортов Черноградский янтарь ($V = 4,6 \%$), Южное ($V = 5,1 \%$), ЗР-1/44 ($V = 8,7 \%$), СК-44/1634 ($V = 5,7 \%$), Амазанит 301 ($V = 1,8 \%$). По содержанию сырого протеина и сбору переваримого протеина следует выделить сорта Южное (8,6 % и 0,80 т/га), Феникс (9,2 % и 0,92 т/га), Амазанит 301 (8,5 % и 0,81 т/га), превысившие стандарт на 0,9–1,6 % и 0,24–0,36 т/га соответственно (таблица 2).

Содержание сахаров в соке стеблей – важный показатель сорго сахарного, позволяющий использовать эту культуру для приготовления силоса, а также для получения сиропов и спирта. Данный показатель имел значения от 11,3 (СТ-20) до 17,8 % (СК-44/1634 и РС-124/19). Сорта, приведенные в таблице 2, имели среднее (10,7–15,0 %) и высокое содержание сахаров в соке стеблей (15,5–19,0 %).

Морфологические признаки и показатели качества получаемой продукции являются лишь косвенными при подборе сортов для возделывания, урожайность всегда остается главным требованием, предъявляемым к ним. Урожайность зеленой массы на силос варьировала в пределах 27–44 т/га (стандарт – 31 т/га), варьирование по сортам было среднее (13,3 %). Наибольшая средняя по сортам урожайность наблюдалась в 2021 г. – 38 т/га (наиболее благоприятный для роста листо-

стебельной массы). Среди сортов по стабильности следует выделить М ($V = 2,7 \%$), ЗР-1/44 ($V = 7,3 \%$), КЛ-12198/2 ($V = 8,2 \%$), РС-124/19 ($V = 9,3 \%$), Сахарное 105/3 ($V = 10,2 \%$). Сильная изменчивость отмечена у сортов ЗСР-44 ($V = 36,1 \%$), Северная вишня ($V = 31,8 \%$) (таблица 3). Урожайность сухого вещества варьировала в пределах 8,7–16,0 %, по сортам изменчивость средняя ($V = 14,0 \%$). По годам сорта проявили различную изменчивость по данному признаку (до 47,4 %). Наибольшая стабильность отмечена у сортов Сахарное 105/3 ($V = 5,4 \%$), ОК-1798 ($V = 7,3 \%$).

По урожайности зеленой массы на силос значительно превысили стандарт 8 сортов сорго сахарного. Из рис. 1 видно, что рост урожайности происходит за счет увеличения продолжительности вегетационного периода.

Выделились сорта Южное и Амазанит 301, которые превзошли стандарт как по урожайности зеленой массы (на 12,9 % и 22,5 %, соответственно), так и сухого вещества (на 30,8 и 29,9 %), при этом созревающие одновременно (либо раньше) со стандартом Черноградский янтарь (101 и 108 дней). Сорт Феникс сформировал максимальную урожайность зеленой массы и сухого вещества, превысив стандарт на 38,7 % и на 36,8 % соответственно.

Сорт Амазанит 301 создан в результате отбора раннеспелых, устойчивых к полеганию форм из популяции Амазанит. Сорт среднеспелый (период «всходы – полная спелость» – 108 дней, период «всходы – молочно-восковая спелость» – 95–97 дней). Высота растений перед уборкой – 212 см. Растения хорошо облиственные (13 листьев, 40–43 % от общей массы растений). Метелка симметричная длиной 35–32 см. Семена округлые, полуплосчатые, окраска колосковой чешуи коричневая, окраска зерна коричневая. Масса 1000 семян – 25 г. Содержание сырого протеина в сухом веществе – 8,5 %, содержание сахаров в соке стеблей – 15,0 %.

Сорта Южное и Феникс в 2019–2020 гг. проходили государственное испытание. В 2021 г. они внесены в Государственный реестр селекционных достижений по Северо-Кавказскому, Центрально-Черноземному и Нижне-Волжскому регионам РФ.

Сорт Южное имеет период «всходы – полная спелость» 101 день, период «всходы – молочно-восковая спелость» – 90–92 дня). Высота растений перед уборкой составляет в среднем 198 см, устойчив к полеганию. Метелка симметричная длиной 22–24 см. Растения хорошо облиственные (10 листьев, 34–38 % от листостебельной массы). Семена округлые, полуплосчатые, окраска колосковой чешуи черная, окраска зерна коричневая. Масса 1000 семян – 22–24 г. Содержание сырого протеина – 8,6 %, сбор переваримого протеина – 0,80 т/га.

Сорт Феникс высокорослый (211 см при созревании), продолжительность периода «всходы – полная спелость» – 111 дней, период «всходы – молочно-восковая спелость» – 98–103 дня. Метелка по форме шире в верхней части, длиной 24–26 см. Листья зеленые, ланцетовидные, количество листьев –

12 шт., облиственность 38–45 %. Семена округлые, полуплоские, окраска колосковой чешуи темно-коричневая, окраска зерна светло-коричневая. Масса 1000 семян – 17–19 г. Содержание сырого протеина – 9,2 %, сбор переваримого протеина – 0,92 т/га, содержание сахаров в соке стеблей – 10,7 %.

Таблица 2
Характеристика показателей качества зеленой массы у сортов сорго сахарного, 2020–2022 гг.

Сорт	Содержание сырого протеина		Сбор переваримого протеина		Содержание сахаров	
	Среднее, %	V, %	Среднее, т/га	V, %	Среднее, %	V, %
Зерноградский янтарь, стандарт	7,6	4,6	0,56	20,1	13,5	6,4
Дебют	7,6	20,1	0,49	30,3	13,7	14,8
Южное	8,6	5,1	0,80	31,2	13,0	10,2
Феникс	9,2	14,2	0,92	17,4	10,7	7,1
ЗР-1/44	9,7	8,7	0,80	9,3	17,0	5,9
СК-44/1634	8,1	5,7	0,62	21,6	17,8	13,8
РС-124/19	8,7	11,6	0,75	22,9	17,8	9,8
ЗСР-441	8,4	11,3	0,61	51,4	16,0	19,5
КД-388	6,9	11,0	0,51	31,3	17,2	6,1
ДК-3868	6,6	18,1	0,50	15,4	17,7	18,8
Сахарное 105/3	6,0	10,2	0,42	14,3	16,3	19,9
ОК- 1798	7,9	18,0	0,61	15,3	12,2	6,3
Северная вишня	7,6	24,5	0,57	51,8	15,5	18,0
КЛ-12198/2	7,6	23,4	0,61	32,5	16,7	6,2
Амазанит 301	8,5	1,8	0,81	6,3	15,0	10,0
М	6,7	13,3	0,50	40,4	11,3	15,7
СТ-20	7,2	16,2	0,40	53,2	11,8	3,0
Среднее	7,8		0,61		15,0	
s	0,8		0,14		1,9	
V, %	12,5		23,1		15,3	

Table 2
Characteristics of green mass quality indicators of the sweet sorghum varieties, 2020–2022

Variety	Raw protein percentage		Digestible protein		Sugar content	
	Mean, %	V, %	Mean, т/га	V, %	Mean, %	V, %
Zernogradskiy yantar', standard	7.6	4.6	0.56	20.1	13.5	6.4
Debyut	7.6	20.1	0.49	30.3	13.7	14.8
Yuzhnoe	8.6	5.1	0.80	31.2	13.0	10.2
Feniks	9.2	14.2	0.92	17.4	10.7	7.1
ZR-1/44	9.7	8.7	0.80	9.3	17.0	5.9
SK-44/1634	8.1	5.7	0.62	21.6	17.8	13.8
RS-124/19	8.7	11.6	0.75	22.9	17.8	9.8
ZSR-441	8.4	11.3	0.61	51.4	16.0	19.5
KD-388	6.9	11.0	0.51	31.3	17.2	6.1
DK-3868	6.6	18.1	0.50	15.4	17.7	18.8
Sakharnoe 105/3	6.0	10.2	0.42	14.3	16.3	19.9
OK- 1798	7.9	18.0	0.61	15.3	12.2	6.3
Severnaya vishnya	7.6	24.5	0.57	51.8	15.5	18.0
KL-12198/2	7.6	23.4	0.61	32.5	16.7	6.2
Amazanit 301	8.5	1.8	0.81	6.3	15.0	10.0
M	6.7	13.3	0.50	40.4	11.3	15.7
ST-20	7.2	16.2	0.40	53.2	11.8	3.0
Average	7.8		0.61		15.0	
s	0.8		0.14		1.9	
V, %	12.5		23.1		15.3	

Показатели продуктивности сортов сорго сахарного, 2020–2022 гг.

Сорт	Урожайность						
	Зеленой массы на силос					Сухого вещества	
	2020	2021	2022	Среднее, т/га	V, %	Среднее, т/га	V, %
Зерноградский янтарь, стандарт	30	37	24	31	21,5	11,7	17,4
Дебют	29	32	21	27	20,3	10,2	14,1
Южное	34	41	30	35	16,3	14,6	25,9
Феникс	38	54	39	44	19,0	16,0	21,2
ЗР-1/44	38	42	40	40	7,3	13,2	17,9
СК-44/1634	39	36	22	32	27,7	12,4	27,7
РС-124/19	32	31	27	30	9,3	13,5	14,0
ЗСР-441	31	45	21	32	36,1	11,5	47,4
КД-388	25	37	29	31	20,3	11,5	22,7
ДК-3868	38	36	31	35	11,1	12,1	8,7
Сахарное 105/3	37	33	30	33	10,2	11,3	5,4
ОК-1798	39	47	30	39	23,0	12,4	7,3
Северная вишня	37	35	19	30	31,8	11,7	30,5
КЛ-12198/2	39	33	35	36	8,2	12,6	11,2
Амазанит 301	36	44	28	36	22,8	14,6	13,6
М	29	30	31	30	2,7	11,6	27,8
СТ-20	30	33	19	27	26,8	8,7	38,7
Среднее	34	38	27	33		12,3	
НСР ₀₅	4	5	3	4		1,7	
V, %	12,8	16,7	21,5	13,3		14,0	

Table 3
Indicators of sweet sorghum varieties' productivity, 2020–2022

Variety	Productivity						
	Green mass for silage					Dry matter	
	2020	2021	2022	Average, t/ha	V, %	Average, t/ha	V, %
Zernogradskiy yantar', standard	30	37	24	31	21.5	11.7	17.4
Debyut	29	32	21	27	20.3	10.2	14.1
Yuzhnoe	34	41	30	35	16.3	14.6	25.9
Feniks	38	54	39	44	19.0	16.0	21.2
ZR-1/44	38	42	40	40	7.3	13.2	17.9
SK-44/1634	39	36	22	32	27.7	12.4	27.7
RS-124/19	32	31	27	30	9.3	13.5	14.0
ZSR-441	31	45	21	32	36.1	11.5	47.4
KD-388	25	37	29	31	20.3	11.5	22.7
DK-3868	38	36	31	35	11.1	12.1	8.7
Sakharnoe 105/3	37	33	30	33	10.2	11.3	5.4
OK-1798	39	47	30	39	23.0	12.4	7.3
Severnaya vishnya	37	35	19	30	31.8	11.7	30.5
KL-12198/2	39	33	35	36	8.2	12.6	11.2
Amazanit 301	36	44	28	36	22.8	14.6	13.6
m	29	30	31	30	2.7	11.6	27.8
ST-20	30	33	19	27	26.8	8.7	38.7
Average	34	38	27	33		12.3	
LSD ₀₅	4	5	3	4		1.7	
V, %	12.8	16.7	21.5	13.3		14.0	

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Согласно проведенным ранее исследованиям, урожайность зеленой массы сорго сахарного находится в средней положительной зависимости с высотой растений ($0,62 \pm 0,05$) и длиной листа ($0,52 \pm$

$0,12$), слабой – с количеством листьев ($r = 0,29 \pm 0,07$). Этим объясняется значительное превосходство средне- и позднеспелых форм сорго сахарного над раннеспелыми, отличающихся не только более высокой облиственностью, но и размерами листо-

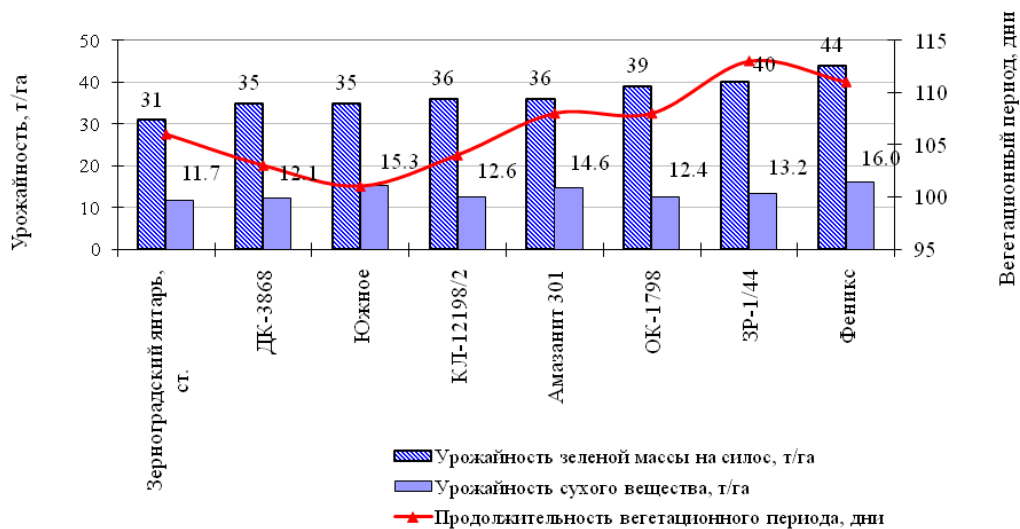


Рис. 1. Характеристика высокоурожайных сортов сорго сахарного, 2020–2022 г.

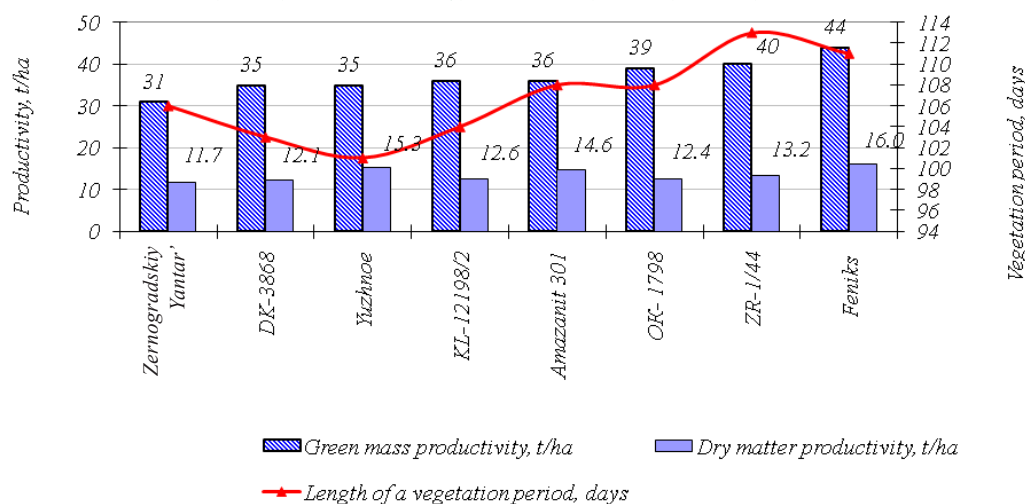


Fig. 1. Characteristics of the highly productive sweet sorghum varieties, 2020–2022

вой поверхности [12]. В результате проведенных исследований подтверждено, что рост урожайности происходит за счет увеличения продолжительности вегетационного периода. Так, среди сортов, превосходящих стандарт по урожайности, сорт ДК-3868 с продолжительностью вегетационного периода 103 дня сформировал 35 т/га зеленой массы, сорт Амазант, созревающий на 108-й день после всходов, – уже 38 т/га, а сорт Феникс с периодом вегетации 111 дней – уже 44 т/га. В исследованиях Р. А. Биктимирова и др. [14] урожайность зеленой массы сорго зависела в большей степени от высоты растений (0,61). Согласно Војовић R. и др., отбор на урожайность зеленой массы сорго следует проводить по высоте растений и диаметру стебля [15].

Продолжительность вегетационного периода, высота растений, длина листа и количество листьев в данной работе проявили слабую изменчивость по сортам. Объясняется это тем, что к моменту передачи на конкурсное испытание сорта проходят отбор по этим признакам. Условия возделывания практически не оказывают влияния на признаки «про-

должительность периода вегетации» и «количество листьев».

По содержанию сырого протеина в сухом веществе зеленой массы сорта проявляли различную изменчивость данного признака по годам, что согласуется с исследованиями других ученых [6; 14; 16]. По содержанию сырого протеина и сбору переваримого протеина следует выделить сорта Южное (8,6 % и 0,80 т/га), Феникс (9,2 % и 0,92 т/га), Амазант 301 (8,5 % и 0,81 т/га), превысившие стандарт на 0,9–1,6 % и 0,24–0,56 т/га соответственно.

Согласно данным Л. В. Римаревой и др., для получения спирта, сиропа необходимы сорта с высоким содержанием сахаров (более 15 %) [17]. Среди изученных сортов для этих целей подходят ЗР-1/44 (17,0 %), СК-44/1634 (17,8 %), РС-124/19 (17,8 %), ЗСР-441 (16,0 %), КД-388 (17,2 %), ДК-3868 (17,7 %), Северная вишня (15,5), КЛ-12198/2 (16,7 %). Выявлено, что наиболее благоприятные условия для повышения данного признака сложились в 2022 г. Год отличался высокими температурами воздуха в августе, когда происходит нали-

и созревание семян (средняя температура воздуха выше среднееголетней на 4,7 °С). Это согласуется с исследованиями А. Б. Капустина, в которых между содержанием сахаров и температурой воздуха наблюдалась положительная корреляция [6].

В результате оценки урожайности зеленой массы на силос за 2020–2022 гг. выявлены сорта с наибольшей стабильностью М ($V = 2,7\%$), ЗР-1/44 ($V = 7,3\%$), КЛ-12198/2 ($V = 8,2\%$), РС-124/19 ($V = 9,3\%$), Сахарное 105/3 ($V = 10,2\%$). Сорта Южное и Амазанит 301 превзошли стандарт Зерноградский янтарь по урожайности зеленой массы на

12,9 % и 22,5 % соответственно, сухого вещества – на 30,8 и 24,8 %, при этом они созревают одновременно (либо раньше) со стандартом Зерноградский янтарь (101 и 108 дней). Сорт Феникс сформировал максимальную урожайность зеленой массы и сухого вещества, превысив стандарт на 38,7 % и на 41,9 %, соответственно.

Сорта Феникс и Южное допущены к использованию по Северо-Кавказскому, Центрально-Черноземному и Нижне-Волжскому регионам РФ для использования на зеленую массу и силос.

Библиографический список

1. Седукова Г. В., Крестова Н. В., Подоляк С. Л. Питательная ценность зеленой массы сорго сахарного, сорго-суданкового гибрида, суданской травы в Юго-Восточной части Беларуси // Земледелие и селекция в Беларуси. 2022. № 58. С. 249–255.
2. Копылов В. Л. Засухоустойчивые кормовые культуры на юге Беларуси // Наше сельское хозяйство. 2020. № 7 (231). С. 60–65.
3. Ковтунов В. В. Посевная площадь и урожайность сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3 (57). С. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.
4. Biktimirov R. A., Nizaeva A. A., Shakirzyanov A. Kh., Sharipkulova Z. M. Analysis of Sudangrass collection cultivars in the Cis-Ural steppe of the Bashkortostan Republic // E3S Web of Conferences: International Conference “Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic” (EFSC2021). Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Vol. 282. Article number 02008. DOI: 10.1051/e3sconf/202128202008.
5. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Popov A. S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007.
6. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Samokish N. V. Evaluation of the quality of sweet sorghum fodder // Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 53. No. 5. Pp. 1184–1189. DOI: 10.36103/ijas.v53i5.1632.
7. Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Володин А. Б., Нижельский Т. Н. Потенциал продуктивности сорго сахарного в южной лесостепи Западной Сибири // Кормопроизводство. 2022. № 4. С. 29–33.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть. Москва, 2019. 329 с.
9. Романюкин А. Е., Ковтунова Н. А., Шуршалин В. А., Ермолина Г. М. Изменчивость основных элементов продуктивности сахарного сорго // Зерновое хозяйство России. 2022. № 3. С. 69–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-69-76.
10. Юдин В. Н., Болдырева Л. Л., Бритвин В. В. Исследование самоопыленных форм сорго сахарного как исходного материала для создания гибридов в условиях Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 97. С. 150–154. DOI: 10.21515/1999-1703-97-150-154.
11. Ковтунова Н. А., Романюкин А. Е., Ковтунов В. В., Кравченко Н. С. Параметры адаптивности и изменчивости урожайности и качества зеленой массы суданской травы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 58–62. DOI: 10.31857/2500-2082-2022/6/58-62.
12. Kapustin S. I., Kapustin A. S., Samokish N. V., Volodin A. B. Feed quality of new Sudan grass varieties // Journal Of Agriculture and Nature. 2022. Vol. 25. No. 2. Pp. 400–405. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.916295.
13. Kovtunova N., Kovtunov V., Popov A., Volodin A., Shishova E., Romanyukin A. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F_1 . E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. Article number 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202027501012.
14. Биктимиров Р. А., Шакирзянов А. Х., Низаева А. А. Экологическая стабильность и пластичность кормового сорго в Республике Башкортостан // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 46–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10810.
15. Vojović R., Popović V.M., Ikanović J., Živanović Lj., Rakašćan N., Popović S., Ugrenović V., Simić D. Morphological characterization of sweet sorghum genotypes across environments [e-source] // The Journal of Animal & Plant Sciences. 2019. Vol. 29 (3). Pp. 721–729. URL: <https://thejaps.org.pk/docs/v-29-03/11.pdf> (date of reference: 22.02.2023).
16. Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Семин Д. ., Куколева С. С. Сахарное сорго для возделывания в засушливых регионах РФ // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 29 (192). С. 66–75.

17. Римарева Л. В., Сербя Е. М., Оверченко М. Б. [и др.] Комплексное использование сока стеблей сахарного сорго для получения этанола и кормовой белково-аминокислотной добавки // Пищевая промышленность. 2021. № 5. С. 56–61. DOI: 10.52653/PPI.2021.5.5.013.

Об авторах:

Александр Егорович Романюкин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID 0000-0003-4349-8489, AuthorID 683996; *sorgo.vniizk@mail.ru*

Наталья Александровна Ковтунова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID 0000-0003-0409-5855, AuthorID 691639; *n-beseda@mail.ru*

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

Study of the promising sweet sorghum varieties

A. E. Romanyukin¹, N. A. Kovtunova¹✉

¹ Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russia

✉ E-mail: *n-beseda@mail.ru*

Abstract. Sweet sorghum in several large agricultural regions of the Russian Federation with unstable or insufficient moisture is becoming a real alternative to traditional feed grain crops. It has high adaptability and provides a stable green mass yield for silage. **The purpose** of the current work was to estimate and characterize promising sweet sorghum varieties developed by the ARC “Donskoy”. **Methodology:** the current study was carried out in the FSBSI “Agricultural Research Center “Donskoy” from 2020 to 2022. The soil of the experimental plot was ordinary calcareous heavy loamy blackearth (chernozem). The objects of research were 17 new varieties being studied in the nursery of the competitive variety testing. **Scientific originality** lies in the study of morphological, biochemical, and productive indicators of the new promising sweet sorghum varieties; in identifying among them the most adaptive ones to the conditions of insufficient (or unstable) moisture in the North Caucasus. **Results.** During the study there was found out that when selecting varieties according to economically valuable traits, it should be taken into account that the growing conditions have no effect only on a vegetation period and a number of leaves are practically, other traits can change significantly. According to green mass productivity, the most stable samples were ‘M’ ($V = 2.7\%$), ‘ZR-1/44’ ($V = 7.3\%$), ‘KL-12198/2’ ($V = 8.2\%$), ‘RS-124/19’ ($V = 9.3\%$), ‘Sakharnoe 105/3’ ($V = 10.2\%$). The analysis of quality and productivity indicators there were identified the new sweet sorghum varieties ‘Yuzhnoe’, ‘Amazanit 301’ and ‘Feniks’. The identified varieties have exceeded the standard one on 4–13 t/ha of green mass, on 2.9–4.3 t/ha of dry matter, on 0.24–0.36 t/ha of digestible protein. The varieties ‘Feniks’ and ‘Yuzhnoe’, approved for use in the North Caucasus, the Central Blackearth and the Low-Volga regions of the Russian Federation, can be recommended for widespread introduction into agricultural production.

Keywords: sweet sorghum, breeding, variety, hybrid, productivity, green mass, dry matter.

For citation: Romanyukin A. E., Kovtunova N. A. Izuchenie perspektivnykh sortov sorgo sakharnogo [Study of the promising sweet sorghum varieties] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 22–31. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-22-31. (In Russian.)

Date of paper submission: 20.02.2023, **date of review:** 06.03.2023, **date of acceptance:** 13.06.2023.

References

1. Sedukova G. V., Kristova N. V., Podolyak S. L. Pitatel'naya tsennost' zelenoy massy sorgo sakharnogo, sorgo-sudankovogo gibrida, sudanskoy travy v Yugo-Vostochnoy chasti Belarusi [Nutritional value of green mass of sweet sorghum, sorghum-sudangrass hybrid and sudan grass in the south eastern part of Belarus] // Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2022. No. 58. Pp. 249–255. (In Russian.)
2. Kopylovich V. L. Zasukhoustoychivye kormovye kul'tury na yuge Belarusi [Drought-resistant feed crops in the south of Belarus] // Nashe sel'skoe khozyaystvo. 2020. No. 7 (231). Pp. 60–65. (In Russian.)
3. Kovtunov V. V. Posevnaya ploshchad' i urozhaynost' sorgo zernovogo [Sown area and productivity of grain sorghum] // Grain Economy of Russia. 2018. No. 3 (57). Pp. 47–49. (In Russian.)

4. Biktimirov R. A., Nizaeva A. A., Shakirzyanov A. Kh., Sharipkulova Z. M. Analysis of Sudangrass collection cultivars in the Cis-Ural steppe of the Bashkortostan Republic // E3S Web of Conferences: International Conference “Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic” (EFSC2021). Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Vol. 282. Article number 02008. DOI: 10.1051/e3sconf/202128202008.
5. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Popov A. S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007.
6. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Samokish N. V. Evaluation of the quality of sweet sorghum fodder // Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 53. No. 5. Pp. 1184–1189. DOI: 10.36103/ijas.v53i5.1632.
7. Boyko V. S., Timokhin A. Yu., Volodin A. B., Nizhelsky T. N. Potentsial produktivnosti sorgo sakharnogo v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Potential of sweet sorghum productivity in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Fodder Production. 2022. No. 4. Pp. 29–33. (In Russian.)
8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaystvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of Agricultural Crops]. Issue 1. General Part. Moscow, 2019. 329 p. (In Russian.)
9. Romanyukin A. E., Kovtunova N. A., Shurshalin V. A., Ermolina G. M. Izmenchivost' osnovnykh elementov produktivnosti sakharnogo sorgo [Variability of the main elements of sweet sorghum productivity] // Grain Economy of Russia. 2022. No. 3. Pp. 69–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-69-76. (In Russian.)
10. Yudina V. N., Boldyreva L. L., Britvin V. V. Issledovanie samoopylenykh form sorgo sakharnogo kak iskhodnogo materiala dlya sozdaniya gibridov v usloviyakh Kryma [Investigation of self-pollinated forms of sweet sorghum as the parent material for the creation of hybrids in the conditions of Crimea] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. No. 97. Pp. 150–154. DOI: 10.21515/1999-1703-97-150-154. (In Russian.)
11. Kovtunova N. A., Romanyukin A. E., Kovtunov V. V., Kravchenko N. S. Parametry adaptivnosti i izmenchivosti urozhaynosti i kachestva zelenoy massy sudanskoj travy [Parameters of adaptability and variability of green mass productivity and quality of Sudan grass] // Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2022. No. 6. Pp. 58–62. DOI: 10.31857/2500-2082-2022/6/58-62. (In Russian.)
12. Kapustin S. I., Kapustin A. S., Samokish N. V., Volodin A. B. Feed quality of new Sudan grass varieties // Journal Of Agriculture and Nature. 2022. Vol. 25. No. 2. Pp. 400–405. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.916295.
13. Kovtunova N., Kovtunov V., Popov A., Volodin A., Shishova E., Romanyukin A. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F₁. E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. Article number 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202027501012.
14. Biktimirov R. A., Shakirzyanov A. Kh., Nizaeva A. A. Ekologicheskaya stabil'nost' i plastichnost' kormovogo sorgo v Respublike Bashkortostan [Environmental stability and adaptability of feed sorghum in the Republic of Bashkortostan] // Achievements of Science and Technology of the AIC. 2019. Vol. 33. No. 8. Pp. 46–49. (In Russian.)
15. Bojović R., Popović V.M., Ikanović J., Živanović Lj., Rakašćan N., Popović S., Ugrenović V., Simić D. Morfological characterization of sweet sorghum genotypes across environments [e-source] // The Journal of Animal & Plant Sciences. 2019. Vol. 29 (3). Pp. 721–729. URL: <https://thejaps.org.pk/docs/v-29-03/11.pdf> (date of reference: 22.02.2023).
16. Kibalnik O. P., Efremova I. G., Semin D. S., Kukoleva S. S. Sakharnoe sorgo dlya vozdeleyvaniya v zasushlivykh regionakh RF [Sweet sorghum for cultivation in the arid regions of the Russian Federation] // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2022. No. 29 (192). Pp. 66–75. (In Russian.)
17. Rimareva L. V., Serba E. M., Overchenko M. B. Kompleksnoe ispol'zovanie soka stebly sakharnogo sorgo dlya polucheniya etanola i kormovoy belkovo-aminokislотноy dobavki [Comprehensive use of sweet sorghum stalk sap for obtaining ethanol and feed protein-amino acid supplement] // Food Industry. 2021. No. 5. Pp. 56–61. (In Russian.)

Authors' information:

Aleksandr E. Romanyukin¹, candidate of agricultural sciences, researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID 0000-0003-4349-8489, AuthorID 683996; sorgo.vniizk@mail.ru
 Natalya A. Kovtunova, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID 0000-0003-0409-5855, AuthorID 691639; n-beseda@mail.ru

¹ Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russia

Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания

И. В. Сафонова¹✉, Н. И. Аниськов¹

¹Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

✉E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Аннотация. Озимая рожь выращивается в разнообразных почвенно-климатических условиях, что указывает на эволюционную устойчивость к действию абиотических стрессоров. В связи с периодическими весенне-летними засухами в условиях Северо-Западного региона РФ проблеме засухоустойчивости ржи отводится особое место. **Цель** настоящей работы – изучить 13 коллекционных сортов озимой диплоидной ржи на засухоустойчивость и адаптивность в Северо-Западном регионе РФ и выделить наиболее перспективные. **Методы.** Опыты закладывались с 2018 по 2022 годы на полевом участке, расположенном в Северо-Западном регионе. Для определения засухоустойчивости сортов использовали индексы: средняя продуктивность (MP), индекс выносливости (TOL), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс засухоустойчивости (DI), индекс толерантности (STI), геометрическая средняя продуктивность (CMP), индекс засухоустойчивости (DSI), агрономическая засухоустойчивость (Аз), степень снижения урожайности (X_3). Для вычисления адаптивности применяли показатели: $d\%$ – диапазон урожая, $V\%$ – коэффициент вариации, Эр – эффект реакции, Ка – коэффициент адаптивности, Ки – коэффициент интенсивности, d т/га – диапазон урожая в т/га. **Результаты.** В годы изучения к засушливым можно отнести 2018, 2019 и 2022 годы. Средняя урожайность в эти годы составила от 3,6 т/га у сорта Нива, до 4,99 т/га у сорта Лота. 2020 и 2021 годы – благоприятные, средняя урожайность – от 6,3 т/га у сорта Нива, до 9,9 т/га у сорта Офелия. Наиболее засухоустойчивыми сортами являются Лота, Зубровка, Талисман, Нива, Ясельда, наиболее адаптивными – Зубровка, Эра, Офелия, Талисман, Ясельда. Из перечисленных методов определения засухоустойчивости следует обратить внимание на индекс стабильности урожайности (YSI) и индекс засухоустойчивости (DI). Для выявления адаптивности: коэффициент адаптивности (Ка) и коэффициент интенсивности (Ки). **Научная новизна** заключается в сравнительной оценке урожайности засухоустойчивости и адаптивности сортов озимой ржи и выявлении среди них обладающих комплексом хозяйственно полезных признаков и устойчивых к засушливым условиям Северо-Западного региона.

Ключевые слова: озимая рожь, урожайность, индексы, стрессоустойчивость, ранг, адаптивность.

Для цитирования: Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45.

Дата поступления статьи: 09.02.2023, **дата рецензирования:** 09.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящий момент заметный интерес вызывает выведение генотипов с высокой засухоустойчивостью. Сорт с усредненной и постоянной продуктивностью будет более приемлем для производства, чем сорт с высокой, но меняющейся урожайностью в различных средах возделывания. Создание и реализация селекционной работы по выведению засухоустойчивых форм озимой ржи, адаптивных и конкретным агроклиматическим условиям, дает возможность внедрять сорта в конкретный регион

с учетом изменчивости факторов среды обитания и воздействия ограничивающих факторов. Кардинальной задачей селекции является увеличение адаптивных возможностей сорта при условии сбережения приобретенного уровня продуктивности. Обычно пластичным является сорт, который повышает данный показатель при улучшении условий возделывания, но в то же время понижает его при ухудшении условий выращивания [1, с. 3–6; 2, с. 48–53].

Почвенно-климатические условия в одном и том же регионе весьма отличаются, в связи с этим наблюдается варьирование урожайности как в пространстве (страна, регион, область, хозяйство) так и во времени [3, с. 58–64]. Устойчивость к засухе – многообразный показатель, который зависит от согласованности большинства процессов, позволяющих генотипу формировать урожай на уровне потенциального в условиях дефицита обеспечения влагой. Показатель эффективности засухоустойчивости образцов осуществляется непосредственно в полевых условиях в засушливые годы в период вегетации по уровню продуктивности. Определяют также степень влияния засухи на рост и величину растений, крупность зерна, число зерен в колосе, длину колоса, уровень отмирания листьев [4, с. 32–34; 5, с. 16–22].

По мощности виды засухи формально разделены на виды: очень сильная – уменьшение урожая на 50 % и более; сильная – лишение урожая на 20–50 %; средняя – убыль урожая менее чем на 20 %. По срокам начала отмечают весеннюю, летнюю и осеннюю засухи, по продолжительности она бывает краткосрочной (в начале, середине или конца вегетации) или долгосрочной (в течение всего периода вегетации) [6, с. 19–23; 7, с. 25–34].

Рожь по праву считается одним из засухоустойчивых злаков. Но в то же время она страдает от недостаточного увлажнения, особенно в критические периоды развития зерна [8, с. 10–16; 9, с. 15–19; 10, с. 18–22; 11, с. 20–23; 12, с. 31–36]. **Цель исследования** заключается в сравнительной оценке урожайности, засухоустойчивости и адаптивности сортов озимой ржи, и выявлении среди них комплекса хозяйственно полезных признаков и устойчивых к засушливым условиям Северо-Западного региона.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследований являлись 13 сортов диплоидной озимой ржи (*S. cereale L. var. vulgare Koern.*). Сорта российской селекции: Эра (к-11640), Эврика (к-11867), Зилант (к-11875), Иртышская (к-11832), Ирина (к-11755); сорта белорусской селекции: Офелия (к-11868), Ясельда (к-11569), Зубровка (к-11570), Зарница (к-11772), Талисман (к-11773), Нива (к-11793), Восток (к-11863), Лота (к-11865). Изучаемые сорта различались по продуктивности. Полевое изучение засухоустойчивости проходило в 2018–2022 годы. Опыты закладывались на суглинистых дерново-подзолистых почвах по чистому пару. Сорта высевали сеялкой ССФК-7, норма посева – 4 млн всхожих зерен на 1 га. Убирали вручную, с дальнейшим обмолотом на селекционной молотилке. Весной после схода снега производили подкормку. Структурный анализ элементов урожая проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР [13, с. 44]. Для оценки сортов по засухоустойчивости использовали показатели засухоустойчи-

вости, с помощью которых сравнивается уровень уменьшения урожая в засушливых условиях в отличие от нормальных [14, с. 85–89]. В РФ используется всего несколько индексов засухоустойчивости [15, с. 49–52; 16, с. 159–161]. Отдельные наиболее приемлемые и распространенные индексы представлены ниже (таблица 1).

Статистическая обработка адаптивности проведена по методике В. А. Зыкина (1984): d – размах урожая и потенциал урожайности сорта, Эр – эффект реакции – по В. В. Новохатину (2019); Ка – коэффициент адаптивности, Ки – коэффициент интенсивности по Л. А. Животкову (2014). В течение исследований (2018–2022 гг.) в период вегетации наблюдались контрастные условия выращивания сортов озимой ржи, что позволило провести комплексную оценку степени ее засухоустойчивости. В 2020 году были самые благоприятные условия за время испытания, самая высокая урожайность в данном опыте – 8,1 т/га. В период вегетации 2018, 2019, 2022 года от всходов до налива зерна наблюдался дефицит влаги и повышенные температуры, в результате этого получен низкий уровень урожая (3,7 т/га; 2,4 т/га; 4,9 т/га соответственно). Условия более достаточного увлажнения сложились в 2021 году уровень урожайности – 7,0 т/га (рис. 1).

Результаты (Results)

Урожайность – один из важнейших параметров хозяйственно-биологической значимости генотипа. При этом он оказывается результирующим признаком воздействия внешней среды на генотип. Считается что величина урожая является результатом компромисса между потенциальной продуктивностью и экологической устойчивостью сорта [17, с. 52–56; 18, с. 84–90; 19, с. 165–172; 20, с. 8–13]. В нашем опыте средняя пятилетняя урожайность в засушливые 2018, 2019, 2022 годы составила 4,99 т/га у сорта Лота. В благоприятные годы (2020, 2021) урожайность изменялась (9,9 т/га у сорта Офелия). Максимальная продуктивность в среднем по опыту составила 6,73 т/га ($Lim = 2,19–11,0$ т/га), минимальная – 2,08 т/га ($Lim = 1,05–9,0$ т/га). Отличительной особенностью большинства изученных сортов является превышение над стандартом Эра по среднему уровню продуктивности (+0,04...+1,46 т/га) (таблица 2).

В связи с часто повторяющимися весенне-летними засухами в условиях Северо-Западного региона требуются тщательное изучение и анализ данных, полученных в этих условиях, для выявления сортов озимой ржи, пригодных для выращивания. Получить достоверную и математически объективную оценку засухоустойчивости генотипа – испытание его в полевых условиях в течение ряда лет, при использовании индексов, рассчитанных по продуктивности. При этом применяется для комплексной характеристики совокупность индексов.

Таблица 1

Индексы засухоустойчивости, использованные в исследовании

Агротехнологии

Индекс	Значение индекса у лучших генотипов	Формула	Источник
Средняя продуктивность	Высокое	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс выносливости	Низкое	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс стабильности	Высокое	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama, Schapaugh, 1984
Индекс засухоустойчивости	Высокое	$DI = \frac{Y_s \cdot Y_s}{Y_p \cdot Y_s}$	Lan, 1998
Индекс толерантности к стрессу	Высокое	$STI = \frac{Y_p \cdot Y_s}{Yp_2}$	Fernandez, 1992
Геометрическая средняя продуктивность	Высокое	$CMP = \sqrt{x_1 \times x_2}$	Fernandez, 1992
Индекс засухоустойчивости	Высокое	$DSI = (1 - Y/Y_p)/(1 - X/X_p)$	Fischer, Maurer, 1978
Агрономическая засухоустойчивость	Высокое	$A_3 = \frac{Y_s}{Y_p} \times 100$	Пакуль В. Н., Плиско Л. Г., 2018
Степень снижения урожайности	Низкое	$X_3 = \frac{(x_2 - x_1)}{x_2} \times 100$	Пакуль В. Н., Плиско Л. Г., 2018

Примечание. Y – урожайность сорта, Y_s, Y_p – урожайность в благоприятных и оптимальных условиях; \bar{Y}_p , \bar{Y}_s – средняя урожайность исследуемой выборки сортов в благоприятных и стрессовых условиях; X – средняя урожайность для всех сортов в стрессовых условиях; X_p – средняя урожайность для всех сортов без стресса; X₃ – степень снижения урожайности; X₁ – урожайность в засушливые годы; X₂ – урожайность в благоприятные годы.

Table 1
Drought resistance indices used in the study

Index	The index value of the best genotypes	Formula	Source
Average productivity	High	$AP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle, Hamblin, 1981
Endurance Index	Low	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle, Hamblin, 1981
Stability Index	High	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama, Schapaugh, 1984
Drought Resistance Index	High	$DI = \frac{Y_s \cdot Y_s}{Y_p \cdot Y_s}$	Lan, 1998
Stress Tolerance Index	High	$STI = \frac{Y_p \cdot Y_s}{Yp_2}$	Fernandez, 1992
Geometric average productivity	High	$GAP = \sqrt{x_1 \times x_2}$	Fernandez, 1992
Drought Resistance Index	High	$DSI = (1 - Y/Y_p)/(1 - X/X_p)$	Fischer, Maurer, 1978
Agronomic drought resistance	High	$Adt = \frac{Y_s}{Y_p} \times 100$	Pakul V. N., Plisko L. G., 2018
The degree of yield reduction	Low	$X_3 = \frac{(x_2 - x_1)}{x_2} \times 100$	Pakul V. N., Plisko L. G., 2018

Note. Y – the yield of the variety, Y_s, Y_p – yield under favorable and stressful conditions; \bar{Y}_p , \bar{Y}_s – average yield of the studied sample of varieties under favorable and stressful conditions; X – average yield for all varieties under stress; X_p – average yield for all varieties without stress; X₃ – the degree of yield reduction; X₁ – yield in dry years; X₂ – yield in favorable years.

Таблица 2

Изменение продуктивности генотипов озимой ржи (2018–2022 гг.)

Сорта	Засушливые годы			Благоприятные годы			Среднее по сорту		% к стандарту
	2018	2019	2022	Среднее	2020	2021	Среднее	± к стандарту	
Эра	3,94	3,86	4,0	3,93	7,5	7,05	7,3	0	100
Офелия	3,27	2,96	4,2	3,47	10,3	9,4	9,9	+0,76	144,4
Ясельда	3,65	3,03	5,3	3,99	9,0	7,6	8,3	+0,45	108,5
Зубровка	3,77	3,16	6,1	4,34	8,1	8,1	8,1	+0,58	111,0
Зарница	4,91	1,75	5,3	3,99	8,9	7,0	7,95	+0,30	105,7
Талисман	4,65	2,19	6,5	4,45	11,0	6,5	8,75	+1,46	127,7
Нива	1,74	2,47	6,6	3,6	6,0	6,6	6,3	-0,25	95,2
Восток	3,29	2,78	4,4	3,49	7,1	6,8	6,95	-0,40	92,4
Лота	3,76	1,76	5,5	4,99	8,8	9,3	9,0	+0,56	110,6
Зилант	4,21	2,63	5,5	4,11	7,5	9,1	8,3	+0,52	109,9
Иргышская	3,13	2,88	5,4	3,8	8,5	7,3	7,6	+1,17	103,2
Эврика	4,62	1,51	7,5	4,48	6,8	6,9	6,8	+0,20	103,8
Ирина	3,68	3,04	4,5	3,74	7,8	7,5	7,7	+0,04	101,0
ΣYi	59,2	38,4	78,7	58,8	130,2	112	—	—	—
Ȳi	3,7	2,4	4,9	3,7	8,1	7,0	7,5	—	—
li	-1,6	-2,8	-0,9	—	+2,9	+1,77	—	—	—

Table 2
Changes in the productivity of winter rye genotypes (2018–2022)

Varieties	Dry years			Favorable years			Average by grade		% to standard
	2018	2019	2022	Average	2020	2021	Average	± to standard	
Era	3.94	3.86	4.0	3.93	7.5	7.05	7.3	0	100
Ofeliya	3.27	2.96	4.2	3.47	10.3	9.4	9.9	+0.76	144.4
Yasel'da	3.65	3.03	5.3	3.99	9.0	7.6	8.3	+0.45	108.5
Zubrovka	3.77	3.16	6.1	4.34	8.1	8.1	8.1	+0.58	111.0
Zarnitsa	4.91	1.75	5.3	3.99	8.9	7.0	7.95	+0.30	105.7
Talisman	4.65	2.19	6.5	4.45	11.0	6.5	8.75	+1.46	127.7
Niva	1.74	2.47	6.6	3.6	6.0	6.6	6.3	-0.25	95.2
Vostok	3.29	2.78	4.4	3.49	7.1	6.8	6.95	-0.40	92.4
Lota	3.76	1.76	5.5	4.99	8.8	9.3	9.0	+0.56	110.6
Zilant	4.21	2.63	5.5	4.11	7.5	9.1	8.3	+0.52	109.9
Irgyshskaya	3.13	2.88	5.4	3.8	8.5	7.3	7.6	+1.17	103.2
Eyrika	4.62	1.51	7.5	4.48	6.8	6.9	6.8	+0.20	103.8
Irina	3.68	3.04	4.5	3.74	7.8	7.5	7.7	+0.04	101.0
ΣYi	59.2	38.4	78.7	58.8	130.2	112	—	—	—
Ȳi	3.7	2.4	4.9	3.7	8.1	7.0	7.5	—	—
li	-1.6	-2.8	-0.9	—	+2.9	+1.77	—	—	—



Рис. 1. Метеопараметры условий выращивания (г. Пушкин, 2018–2022 гг.)

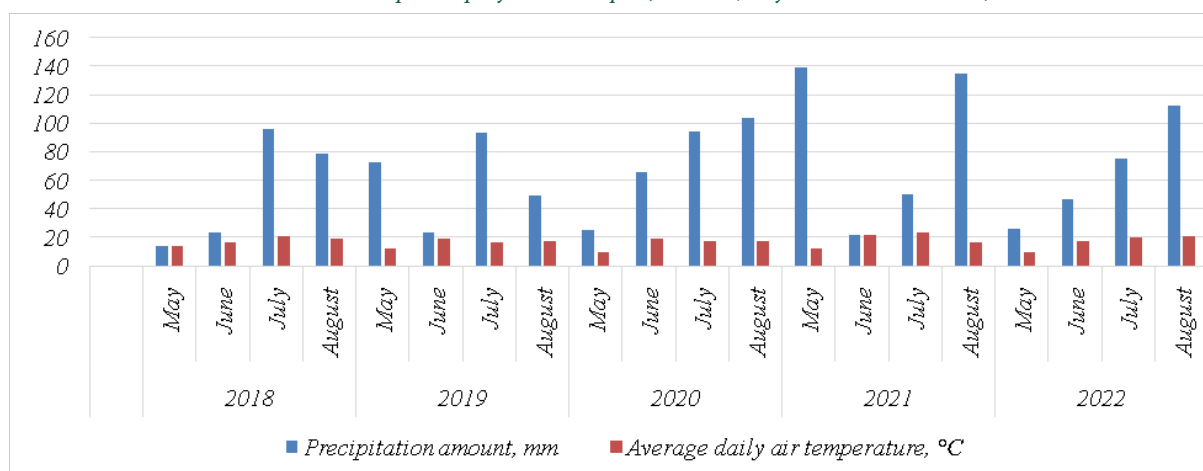


Fig. 1. Meteorological parameters of growing conditions (Pushkin, 2018–2022)

A. A. Rosielle, J. Hamblin [21, с. 945], полагают, что показатель толерантности (TOL), это разность продуктивности оптимальных (Y_p) и неблагоприятных (Y_s) условиях среды и промежуточную продуктивность (MP), в качестве средних показателей Y_p и Y_s . Основываясь на этом, они принимают сорта с большей средней урожайностью (MP) и низкими показателями индекса толерантности (TOL) наиболее засухоустойчивыми. Индекс выносливости указывает, насколько уменьшилась урожайность образцов в неблагоприятный год по сравнению с благоприятным. Как показывают результаты нашего изучения, высокая ценность характерна для сортов Талисман, Лота, Офелия, Зарница, Иртышская (MP = 7,6; 7,0; 6,7; 6,6; 6,6 соответственно). Сорта Нива, Эра, Восток характеризуются высокой изменчивостью засухоустойчивости (TOL = 2,7; 3,0; 3,4; 3,5 соответственно) (таблица 3).

По мнению авторов, M. Bouslama and W. T. Scharaugh [22, p. 935], показатель стабильности продуктивности (YSI) указывает на сколько урожай в засушливый год меньше, чем в благополучный. Эта особенность характерна для сортов Офелия, Ирина, Эврика (YSI = 2,8; 2,8; 2,3 соответственно).

J. Lan [23, p. 86] предлагает для расчета засухоустойчивости использовать показатель DI, который учитывает, насколько уменьшилась урожайность в засушливый год по сравнению с благоприятным годом и насколько урожайность в засушливые годы больше, чем средняя выборка. В анализируемом нами изучении достоверно превысили стандарт Эра сорта Ясельда (DI = 0,6), Зубровка (DI = 0,6), Нива (DI = 0,6), Лота (DI = 0,6).

G. C. J. Fernandez [24, p. 259] при вычислении засухоустойчивости сортов по варьированию их урожайности использовал показатель толерантности к засухе (STI), который является произведением урожая в стрессовых и благополучных условиях. Индекс толерантности, определенный нами, подтверждает высокую адаптивность сортов Нива, Талисман, Лота, Эра (STI = 0,57; 0,56; 0,55; 0,54 соответственно). Также он применял геометрическую среднюю продуктивность (CMP), образцы с большими значениями (STI) и (CMP) будут более предпочтительны. Анализ средних значений выше указанного индекса (CMP) показал, что это сорта Лота, Талисман, Эврика, Зубровка, Иртышская (CMP = 6,8; 6,2; 6,1; 5,9 соответственно).

Индексы засухоустойчивости сортов озимой ржи (2018–2022 гг.)

Сорта	Индексы засухоустойчивости								
	MP	TOL	YSI	DI	STI	CMP	DSI	Aз	X _з
Эра	5,6	3,4	1,9	0,54	0,54	2,7	0,72	53,8	46,2
Офелия	6,7	6,4	2,8	0,32	0,35	3,1	1,01	35,1	64,9
Ясельда	6,2	4,3	2,1	0,6	0,48	5,7	0,81	48,1	51,9
Зубровка	6,2	3,8	1,9	0,6	0,51	5,9	0,81	53,6	46,4
Зарница	6,6	4,0	1,8	0,5	0,50	5,6	0,78	50,2	51,0
Талисман	7,6	4,3	2,0	0,51	0,56	6,23	0,77	50,9	49,1
Нива	5,0	2,7	1,7	0,6	0,57	4,8	0,67	57,1	43,0
Восток	5,2	3,5	2,0	0,5	0,5	4,9	0,78	50,2	49,8
Лота	7,0	4,1	1,8	0,6	0,55	6,8	0,71	54,8	45,2
Зилант	6,2	4,2	2,0	0,49	0,49	5,8	0,79	49,5	50,5
Иртышская	6,6	5,5	2,0	0,41	0,41	5,9	0,92	40,9	59,2
Эврика	5,0	3,8	2,5	0,41	0,53	6,1	0,73	53,3	46,7
Ирина	4,5	4,0	2,8	0,48	0,49	5,4	0,80	48,1	51,4

Table 3

Drought resistance indices of winter rye varieties (2018–2022)

Varieties	Drought resistance indices								
	AP	TOL	YSI	DI	STI	GAP	DSI	Adt	X _з
Era	5.6	3.4	1.9	0.54	0.54	2.7	0.72	53.8	46.2
Ofeliya	6.7	6.4	2.8	0.32	0.35	3.1	1.01	35.1	64.9
Yasel'da	6.2	4.3	2.1	0.6	0.48	5.7	0.81	48.1	51.9
Zubrovka	6.2	3.8	1.9	0.6	0.51	5.9	0.81	53.6	46.4
Zarnitsa	6.6	4.0	1.8	0.5	0.50	5.6	0.78	50.2	51.0
Talisman	7.6	4.3	2.0	0.51	0.56	6.23	0.77	50.9	49.1
Niva	5.0	2.7	1.7	0.6	0.57	4.8	0.67	57.1	43.0
Vostok	5.2	3.5	2.0	0.5	0.5	4.9	0.78	50.2	49.8
Lota	7.0	4.1	1.8	0.6	0.55	6.8	0.71	54.8	45.2
Zilant	6.2	4.2	2.0	0.49	0.49	5.8	0.79	49.5	50.5
Irtyskaya	6.6	5.5	2.0	0.41	0.41	5.9	0.92	40.9	59.2
Evrika	5.0	3.8	2.5	0.41	0.53	6.1	0.73	53.3	46.7
Irina	4.5	4.0	2.8	0.48	0.49	5.4	0.80	48.1	51.4

В настоящее время при расчете засухоустойчивости часто используют показатель (DSI), предложенный R. A. Fischer, R. Maurer. Он основан на использовании урожайности сорта в условиях стресса и без стресса.

Согласно расчетам, с использованием этой методики, наиболее засухоустойчивы генотипы Офелия (DSI = 1,01), Иртышская (DSI = 0,92).

Установлено, что при выявлении уровня засухоустойчивости сорта нередко используют показатель агрономическая засухоустойчивость (Аз). По этому показателю стабильнее других высокую засухоустойчивость формировали сорта Нива (Аз = 57,1), Лота (Аз = 54,8), Эра (Аз = 53,8), Зубровка (Аз = 53,6), Эврика (Аз = 53,3), Талисман (Аз = 50,9), которые отнесены к высоко засухоустойчивым.

Величина степени снижения урожайности (X_з) показывает вариацию засухоустойчивости. Чем его величина меньше, тем сорт более засухоустойчив. Высокая засухоустойчивость наблюдалась у образцов Нива (X_з = 43,0), Лота (X_з = 45,2), Эра (X_з = 46,2), Зубровка (X_з = 46,4), Эврика (X_з = 46,7), Та-

лисман (X_з = 49,1). Для полной и окончательной оценки засухоустойчивости сортов необходимо использовать объединенную характеристику совокупности параметров. У всех индексов определенные плюсы и минусы, поэтому характеристика сортов одним из них не всегда полностью отражает их засухоустойчивость. Необходимо использовать метод ранжирования сортов по величине засухоустойчивости, оценку проводить по меньшей сумме рангов, полученных каждым сортом. По результатам испытания высокий уровень засухоустойчивости характерен для сортов Лота, Зубровка, Талисман, Нива, Ясельда, Эра (рис. 2).

Сорт – это генетическая система, которая по-разному реагирует на внешние факторы окружающей среды. Отличительная особенность каждого сорта – способность реализовать потенциал урожайности в зависимости от складывающихся погодных условий, в связи с этим правильный выбор сорта имеет первостепенное значение при его использовании.

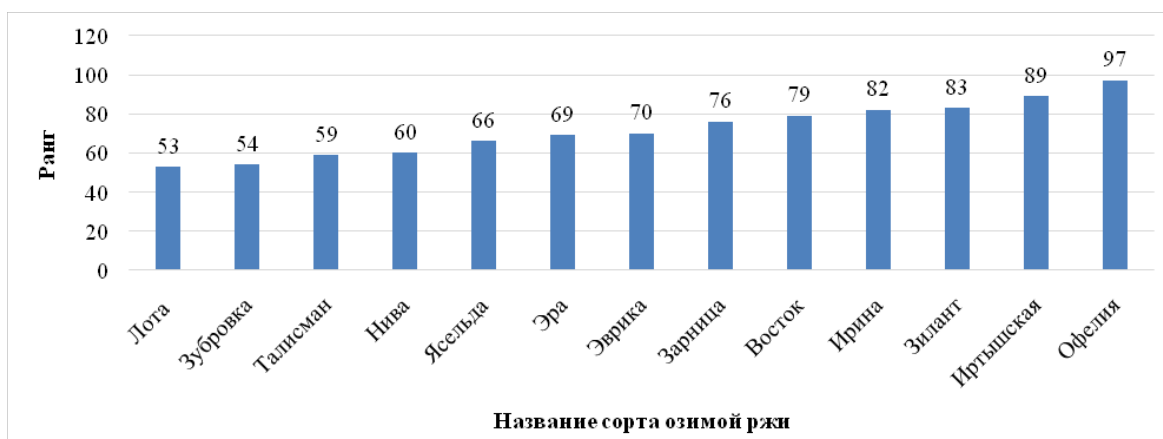


Рис. 2. Ранжирование сортов озимой ржи по засухоустойчивости

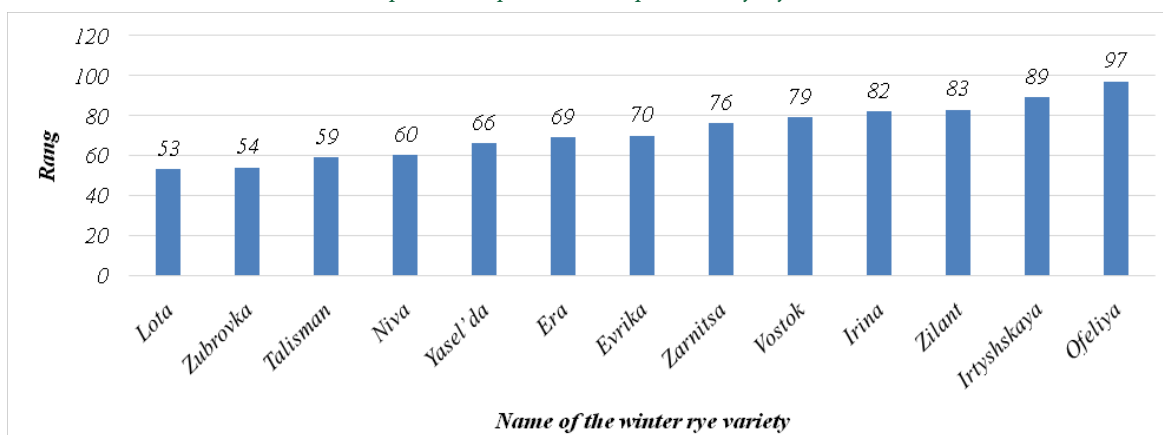


Fig. 2. Ranking of winter rye varieties by drought resistance

Первым из рассмотренных адаптационных параметров сортов, предложенный В. А. Зыкиным (1984), в разных климатических условиях был его диапазон урожайности, который определяется по формуле:

$$d = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max}} 100, \quad (1)$$

где Y_{\max} , Y_{\min} – урожай соответственно максимальный и минимальный.

Этот показатель указывает на степень устойчивости сорта к условиям выращивания.

Высокая устойчивость характерна для сортов Эра, Зубровка, Восток, Ирина ($d\% = 48,0; 60,4; 60,5; 61,5$ % соответственно) (таблица 4).

Реализация потенциала возделываемых сортов зависит от факторов среды и их биологических параметров. Рассчитывается так:

$$РПУ = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\text{средн}}} 100, \quad (2)$$

где Y_{\max} , Y_{\min} , $Y_{\text{средн}}$ – соответственно максимальный, минимальный, средний урожай.

Высокая величина уровня показателя потенциала урожайности отмечена у сортов Нива (132,0), Талисман (131,3), Эра (129,3), Лота (129,3), Зарница (128,5), Офелия (122,1).

По мнению Б. А. Доспехова (2014), для определения уровня адаптивности возможно применять коэффициент вариации (V) – стандартизированное отклонение, отображенное в процентах к средней арифметической изученного набора сортов:

$$V = \frac{S}{\bar{X}} 100, \quad (3)$$

где S – стандартное отклонение; \bar{X} – средняя урожайность сорта.

Вариацию общепринято воспринимать незначительной, если она не достигает 10 %, средней – если действует в пределах больше 10 %, но меньше 20 %, и существенной, если превышает 20 %.

Высокий уровень варьирования отмечен у популяций Нива, Лота, Талисман, Зарница. Меньший – у сортов Эра, Офелия, Зубровка, Восток.

В настоящее время отмечается важность приспособленности сорта к конкретным условиям в связи с неодинаковым поведением сортов в одной зоне в зависимости от условий года. Для выявления этого параметра мы в своих исследованиях использовали показатель эффекта реакции на условия среды (Эр), введенный В. В. Новохатыным (2019).

$$\text{Эр} = (Ai - Afi) - Ji, \quad (4)$$

где Ai – величина урожая сорта в год изучения;

Afi – средняя величина признака за годы изучения;

Ji – индекс условий среды.

Диапазон урожая и исполнение его потенциальных возможностей у диплоидных сортов ржи (2018–2022 гг.), Пушкин

Образец	Урожайность, т/га			Диапазон (d)		V% Коэффициент вариации	Потенциальная урожайность, %
	min	max	Среднее \bar{Y}_i	max – min, т/га	в %		
Эра	3,9	7,5	5,3	3,6	48,0	34,9	129,3
Офелия	3,0	10,3	6,0	7,3	70,9	39,1	122,1
Ясельда	3,0	9,0	5,7	6,0	66,0	44,7	105,2
Зубровка	3,2	8,1	5,9	4,9	60,4	39,1	83,0
Зарница	1,7	8,9	5,6	7,2	80,8	47,8	128,5
Талисман	2,2	11,0	6,7	8,8	80,0	52,6	131,3
Нива	1,7	8,3	5,0	6,6	79,5	56,3	132,0
Восток	2,8	7,1	4,9	4,3	60,5	40,4	87,7
Лота	1,8	9,3	5,8	7,5	80,6	55,5	129,3
Зилант	2,6	9,1	5,5	6,5	71,4	47,3	118,1
Иртышская	2,9	8,5	5,5	5,6	65,4	44,8	101,2
Эврика	1,5	7,5	5,5	6,0	80,0	45,0	109,1
Ирина	3,0	78	5,3	4,8	61,5	41,8	90,5

Table 4

The range of yield and the fulfillment of its potential in diploid varieties of rye (2018–2022), Pushkin

Varieties	Yield, t/ha			Range (d)		V% coefficient of variation	Potential yield, %
	min	max	Average \bar{Y}_i	max – min, t/ha	%		
Era	f	7.5	5.3	3.6	48.0	34.9	129.3
Ofeliya	3.0	10.3	6.0	7.3	70.9	39.1	122.1
Yasel'da	3.0	9.0	5.7	6.0	66.0	44.7	105.2
Zubrovka	3.2	8.1	5.9	4.9	60.4	39.1	83.0
Zarnitsa	1.7	8.9	5.6	7.2	80.8	47.8	128.5
Talisman	2.2	11.0	6.7	8.8	80.0	52.6	131.3
Niva	1.7	8.3	5.0	6.6	79.5	56.3	132.0
Vostok	2.8	7.1	4.9	4.3	60.5	40.4	87.7
Lota	1.8	9.3	5.8	7.5	80.6	55.5	129.3
Zilant	2.6	9.1	5.5	6.5	71.4	47.3	118.1
Irtyskaya	2.9	8.5	5.5	5.6	65.4	44.8	101.2
Evrika	1.5	7.5	5.5	6.0	80.0	45.0	109.1
Irina	3.0	78	5.3	4.8	61.5	41.8	90.5

Повышенная адаптивность выявлена у сортов Талисман ($\text{Эр} = 1,11$), Офелия ($\text{Эр} = 0,41$), Зубровка ($\text{Эр} = 0,23$), Лота ($\text{Эр} = 0,21$), Зилант ($\text{Эр} = 0,15$). К образцам, имеющим слабую реакцию на варьирование условий возделывания, относятся Восток, Нива, Эра, Ирина, Эврика ($\text{Эр} = -0,75 \dots -0,17$) (таблица 5).

Наиболее существенным методом понижения межгодовых различий в урожайности является использование более адаптивных сортов. Поэтому определение адаптивной реакции сортов на изменение экологических условий по годам весьма актуально.

Л. А. Животков (2014) для оценки адаптивной реакции образцов предлагает использовать коэффициент адаптивности (K_a) и коэффициент интенсивности (K_i).

$$K_a = \frac{\bar{Y}_c}{\text{ССУГ}} \times 100, \quad (5)$$

Коэффициент адаптивности K_a показывает отношение средней урожайности отдельного сорта (к

средней урожайности всех испытываемых сортов в неблагоприятные годы (ССУГ).

$$K_i = \frac{Y_c}{\text{ССУГ}} \times 100, \quad (6)$$

Коэффициент интенсивности (K_i) показывает такое же отношение, но в благоприятные годы.

Высокая адаптивность была выявлена у сортов Эврика ($K_a = 121,1\%$), Талисман ($K_a = 120,3\%$), Зубровка ($K_a = 117,3\%$), Зилант ($K_a = 111,1\%$) (таблица 6).

К интенсивным сортам, предпочитающим высокий уровень агротехнологии, относятся Офелия, Лота, Талисман, Зилант ($K_i = 132; 120; 116,7; 110,7\%$).

Оценка одним показателем не полностью объективно выявляет адаптивность, пластичность и стабильность сорта. Более всестороннюю информацию обеспечивает применение ряда параметров, но в таком случае необходимо использовать ранжирование сортов (рис. 3).

Таблица 5
Степень эффекта реакции сортов (2018–2022 гг.)

Образец	Величина эффекта реакции сортов (Эр)					Σ (Эр)	Среднее (Эр)
	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022		
Эра	+0,1	+1,3	-0,8	-0,9	-1,45	-1,75	-0,35
Офелия	-0,5	+0,4	+2,0	+1,4	-1,25	+2,05	+0,41
Ясельда	-0,1	+0,4	+0,7	-0,4	-0,15	+0,45	+0,09
Зубровка	0	+0,6	-0,2	+0,1	+0,65	+1,15	+0,23
Зарница	+11	-0,9	0,6	-1,0	-0,15	-0,35	-0,07
Талисман	+0,9	-0,4	+2,7	+1,3	+1,05	+5,55	+1,11
Нива	-2,1	-0,1	-2,3	+0,3	+1,15	-3,05	-0,61
Восток	-0,5	+0,2	-1,2	-1,2	-1,05	-3,75	-0,75
Лото	0	-0,8	+0,5	+1,3	+0,05	+1,05	+0,21
Зилант	+0,4	0	-0,8	+1,1	+0,05	+0,75	+0,15
Иртышская	-0,6	+0,3	+0,2	-0,7	+0,04	-0,76	-0,15
Эврика	+0,8	-1,1	-1,5	-1,1	+2,05	-0,85	-0,17
Ирина	-0,1	+0,4	-0,5	-0,5	-0,95	-1,65	-0,33

Table 5
Degree of reaction effect of varieties (2018–2022)

Varieties	Value reaction effect varieties (Er)					Σ (Er)	Average (Er)
	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022		
Era	+0.1	+1.3	-0.8	-0.9	-1.45	-1.75	-0.35
Ofeliya	-0.5	+0.4	+2.0	+1.4	-1.25	+2.05	+0.41
Yasel'da	-0.1	+0.4	+0.7	-0.4	-0.15	+0.45	+0.09
Zubrovka	0	+0.6	-0.2	+0.1	+0.65	+1.15	+0.23
Zarnitsa	+11	-0.9	0.6	-1.0	-0.15	-0.35	-0.07
Talisman	+0.9	-0.4	+2.7	+1.3	+1.05	+5.55	+1.11
Niva	-2.1	-0.1	-2.3	+0.3	+1.15	-3.05	-0.61
Vostok	-0.5	+0.2	-1.2	-1.2	-1.05	-3.75	-0.75
Loto	0	-0.8	+0.5	+1.3	+0.05	+1.05	+0.21
Zilant	+0.4	0	-0.8	+1.1	+0.05	+0.75	+0.15
Irtyskaya	-0.6	+0.3	+0.2	-0.7	+0.04	-0.76	-0.15
Evrika	+0.8	-1.1	-1.5	-1.1	+2.05	-0.85	-0.17
Irina	-0.1	+0.4	-0.5	-0.5	-0.95	-1.65	-0.33

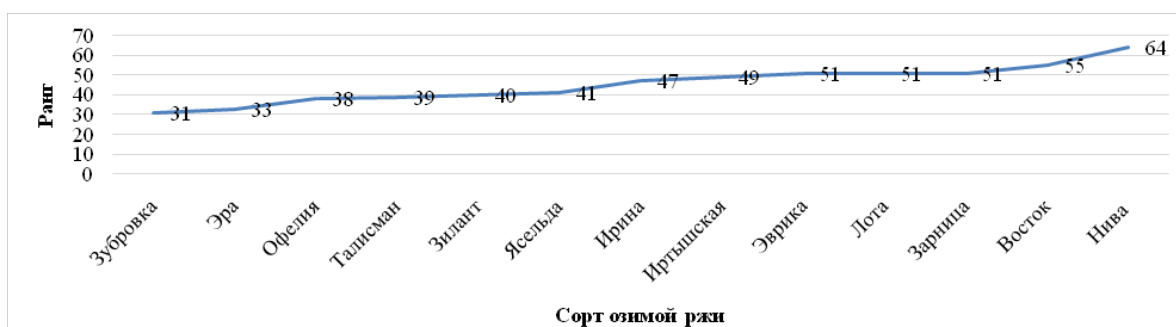


Рис. 3. Ранжирование сортов озимой ржи (2018–2022)

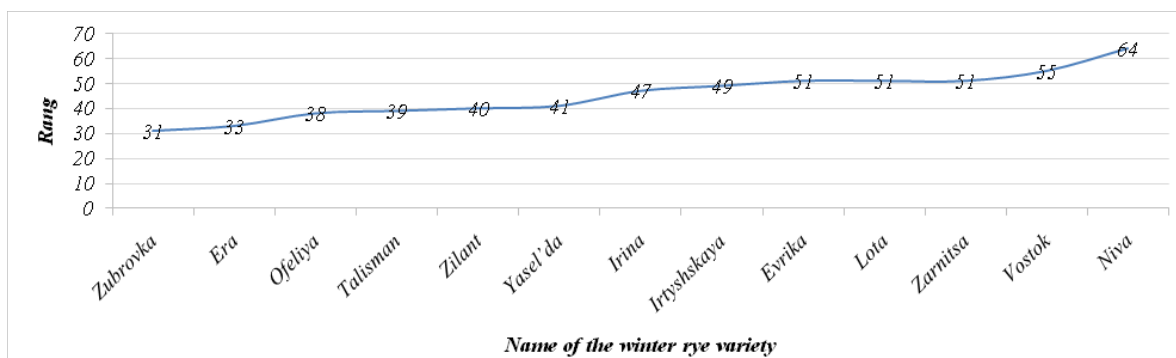


Fig. 3. Ranking of winter rye varieties (2018–2022)

Таблица 6

Адаптивная реакция сортов ржи на экологические условия по годам испытания

Образец	Коэффициент адаптивности (Ka)				Коэффициент интенсивности (Ki)		
	Засушливые годы				Благоприятные годы		
	2018	2019	2022	Среднее	2020	2021	Среднее
Эра	106,8	104,3	108,1	106,0	100,0	94,0	97,3
Офелия	88,4	80,0	113,5	94,0	137,3	125,3	132,0
Ясельда	98,6	82,0	143,2	107,8	120,0	101,3	110,7
Зубровка	102,0	85,4	164,8	117,3	108,0	108,0	108,0
Зарница	133,0	47,2	143,0	107,8	118,7	93,3	106,0
Талисман	125,4	59,2	175,6	120,3	146,7	86,7	116,7
Нива	47,0	66,7	178,4	97,3	80,0	88,0	84,0
Восток	88,9	75,1	118,9	92,7	94,7	90,7	92,7
Лото	101,6	47,6	148,6	99,3	117,3	124,0	120,0
Зилант	114,0	71,1	148,6	111,1	100,0	121,3	110,7
Иртышская	84,6	77,8	145,9	102,7	113,3	97,3	101,3
Эврика	125,0	40,8	203,0	121,1	90,7	92,0	91,0
Ирина	99,5	82,1	121,6	101,1	104,0	100,0	102,7

Table 6

Adaptive response of rye varieties to environmental conditions by years of testing

Varieties	Coefficient of adaptability (Ca)				Coefficient of intensity (Ci)		
	Dry years				Favorable years		
	2018	2019	2022	Average	2020	2021	Average
Era	106.8	104.3	108.1	106.0	100.0	94.0	97.3
Ofeliya	88.4	80.0	113.5	94.0	137.3	125.3	132.0
Yasel'da	98.6	82.0	143.2	107.8	120.0	101.3	110.7
Zubrovka	102.0	85.4	164.8	117.3	108.0	108.0	108.0
Zarnitsa	133.0	47.2	143.0	107.8	118.7	93.3	106.0
Talisman	125.4	59.2	175.6	120.3	146.7	86.7	116.7
Niva	47.0	66.7	178.4	97.3	80.0	88.0	84.0
Vostok	88.9	75.1	118.9	92.7	94.7	90.7	92.7
Loto	101.6	47.6	148.6	99.3	117.3	124.0	120.0
Zilant	114.0	71.1	148.6	111.1	100.0	121.3	110.7
Irtyskaya	84.6	77.8	145.9	102.7	113.3	97.3	101.3
Evrika	125.0	40.8	203.0	121.1	90.7	92.0	91.0
Irina	99.5	82.1	121.6	101.1	104.0	100.0	102.7

Анализ результатов тестирования выявил, что наиболее приспособленными являются сорта Зубровка, Эра, Офелия, Талисман, Зилант, Ясельда ($\Sigma p = 31, 33, 38, 39, 40$ соответственно).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Наши исследования показали, что на основании селекционной работы, которая выполнялась с 2018 по 2022 годы, в условиях Северо-Западного региона условия произрастания варьировали. В годы изучения к засушливым можно отнести 2018, 2019 и 2022 годы. Средняя урожайность составила от 3,6 т/га у сорта Нива до 4,99 т/га у сорта Лота. 2020 и 2021 годы – благоприятные, урожайность – (от 6,3 т/га у сорта Нива, до 9,9 т/га у сорта Офелия). Превысили по уровню среднего урожая стандарт Эра сорта Талисман, Офелия, Зубровка, Лота, Иртышская, Ясельда. Для определения засухоустойчивости сортов использовали индексы: средняя продуктивность (MP), индекс выносливости (TOL), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс засухоустойчивости (DI), индекс толерантности

(STI), геометрическая средняя продуктивность (CMP), индекс засухоустойчивости (DSI), агрономическая засухоустойчивость (Az), степень снижения урожайности (Xз). Следует обратить внимание на индекс стабильности урожайности (YSI) и индекс засухоустойчивости (DI). Из 13 изученных коллекционных образцов озимой ржи были выделены засухоустойчивые и адаптивные сорта Лота, Зубровка, Талисман, Нива, Ясельда, которые могут быть рекомендованы для использования в селекционном процессе.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Библиографический список

1. Кобылянский В. Д., Кузнецова Л. И., Солодухина О. В. [и др.] Перспективы использования низкопентозановой ржи для хлебопекарных целей // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 6. С. 3–6.
2. Тимина М. А., Кобылянский В. Д., Бутковская Л. К. Использование первичного семеноводства озимой ржи // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 48–53.
3. Никитина В. И., Количенко А. А. Оценка экологической стабильности сортов яровой мягкой пшеницы на сортоучастках Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3. С. 58–64.
4. Пакуль В. Н., Мартынова С. В., Андросов Д. Е. Оценка адаптивной способности и стабильности ярового ячменя в условиях северной лесостепи Кузнецкой котловины // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 1. С. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10106.
5. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка адаптивности генотипов озимой пшеницы к засушливым условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. № 5 (184). С. 16–22. DOI: 10.32417/article_5d5151b14b9cf7.14014444.
6. Чеканин С. Г., Оськин А. А., Сейфулина Ш. [и др.] Оценка влияния различных типов засух на продуктивность возделывания культур // Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. 2020. № 1 (81). С. 19–23.
7. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Влияние засух на хозяйственно ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области // Вестник Омского ГАУ. 2021. № 3 (43). С. 25–34.
8. Немцев С. И., Шарипова Р. Б. Оценка агрометеорологических показателей атмосферных засух и урожайность зерновых культур в изменяющихся условиях регионального климата // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. Вып. 1. С. 10–16.
9. Мухитов Л. А., Тимошенкова Т. А. Сорты яровой твердой пшеницы, адаптированные к условиям степи Уральского региона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19.
10. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6 (66). С. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
11. Максютлов Н. А., Зоров А. А., Скороходов В. Ю. [и др.] Урожайность сельскохозяйственных культур в условиях засухи степной зоны южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 20–23.
12. Янченко В. И., Розова М. В., Мельник В. М. Использование засухоустойчивого генофонда твердой яровой пшеницы в создании высокоадаптивных сортов сибирского экотипа // Вестник региональной сети по внедрению сортов пшеницы и семеноводству. 2004. № 1-2 (7-8), С. 31–36.
13. Кобылянский В. Д., Сафонова И. В., Солодухина О. В., Аниськов Н. И. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ржи. Санкт-Петербург: ВИР. 2015. 44 с.
14. Калыбекова Ж. Т., Цыганкова В. И., Зуев Е. В., Новикова Л. Ю. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой пшеницы в условиях Актюбинской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 3. С. 85–89. DOI: 10.30901-2227-8834-2022-3-85-89.
15. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Засухоустойчивость сортов яровой мягкой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 2 (789). С. 49–52.
16. Василевский В. Д. Индексная оценка засухоустойчивости сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости в южной лесостепи Западной Сибири // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов международной научно-практической конференции. Барнаул, 2019. С. 159–161.
17. Кравченко Н. С., Лиховидова В. А., Скрипка О. В. Качество зерна и засухоустойчивость сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2018. № 1 (55). С. 52–56.
18. Сайфутдинова Д. Д., Пономарева М. Л., Илалова Л. В. Формирование урожайности и качества зерна озимой ржи в условиях недостаточного увлажнения // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 5. С. 84–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-84-90.
19. Нуждина Н. Н., Ермолаева Т. Я., Кайргалиева Д. В., Лихолетова Е. А. Урожайность и качество зерна современных сортов озимой ржи // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 165–172.
20. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф., Илалова Л. В., Вафина Г. С. Новый сорт озимой ржи Зилант с широкой адаптацией // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1 (73). С. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13.
21. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science. 1978. No. 21 (6). Pp. 943–946.

22. Bouslama M., Schapaugh W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance // *Crop Science*. 1984. Vol. 24. Pp. 933–937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.
23. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops // *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. No. 7. Pp. 85–87.
24. Fernandez G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance // *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water stress tolerance*. Tainan, 1992. Pp. 257–270.
25. Зыкин А. А., Мешков В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.
26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс, 2014. 351 с.
27. Новохатин В. В. Экологическая селекция мягкой пшеницы // *Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири (ОСП–2019): материалы международной научной конференции*. Красноярск, 2019. С. 92–103.
28. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методики выявления потенциальной продуктивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // *Селекция и семеноводство*. 2014. № 2. С. 2–6.

Об авторах:

Ирина Владимировна Сафонова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0001-8138-930X, AuthorID 430608; +7 931 542-74-29, isafonova@vir.nw.ru

Николай Иванович Анисков¹, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-7819-8286, AuthorID 260589; +7 812 571-00-14, n.aniskov@vir.nw.ru

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions

I. V. Safonova¹✉, N. I. Aniskov¹

¹ Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Abstract. Winter rye is grown in a variety of soil and climatic conditions, which indicates the evolutionary resistance to the action of abiotic stressors. Due to periodic spring-summer droughts in the conditions of the North-West region of the Russian Federation, the problem of drought tolerance in rye is of particular importance. **The purpose** of this study was to investigate 13 winter diploid rye collection varieties for drought tolerance and adaptability in the Northwestern region of the Russian Federation and to identify the most promising ones. **Methods.** Experiments were laid from 2018 to 2022 in a field plot located in the Northwestern region. To determine the drought tolerance of varieties we used indices: average productivity (AP), endurance index (TOL), yield stability index (YSI), drought tolerance index (DI), tolerance index (STI), geometric average productivity (GAP), drought tolerance index (DSI), agronomic drought tolerance (Adt), degree of yield reduction (X_3). To calculate adaptability, the following indicators were used: d% – yield range in %, V% – coefficient of variation, Er – response effect, Ca – adaptability coefficient, Ci – intensity coefficient, d t/ha – yield range in t/ha. **Results.** The study years can be classified as drought years 2018, 2019, and 2022. The average yield in these years ranged from 3.6 t/ha for the variety Niva, to 4.99 t/ha for the variety Lota. Years 2020 and 2021 are favorable, with average yields ranging from 6.3 t/ha for the variety Niva, to 9.9 t/ha for the variety Ofeliya. The most drought-resistant varieties are Lota, Zubrovka, Talisman, Niva, Yasel'da, the most adaptive are Zubrovka, Era, Ofeliya, Talisman, Yasel'da. Of the listed methods of determining drought tolerance, we should pay attention to the Yield Stability Index (YSI) and Drought Tolerance Index (DI). To identify adaptability: the coefficient of adaptability (Ca) and the coefficient of intensity

(Ci). **Scientific novelty.** Consists in a comparative assessment of yield drought tolerance and adaptability of winter rye varieties and identifying among them possessing a set of economically useful features and resistant to drought conditions of the North-West region.

Keywords: winter rye, yield, indices, stress resistance, rank, adaptability.

For citation: Safonova I. V., Aniskov N. I. Indeksnyaya otsenka zasukhoustoychivosti i adaptivnosti perspektivnykh sortov diploidnoy ozimoy rzhi v kontrastnykh usloviyakh vyrashchivaniya [Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45. (In Russian.)

Date of paper submission: 09.02.2023, **date of review:** 09.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

References

1. Kobylanskiy V. D., Kuznetsova L. I., Solodukhina O. V. et al. Perspektivy ispol'zovaniya nizkopentozanovoy rzhi dlya khlebopekarnykh tseley [Prospects of using low-pentosan rye for baking purposes] // Russian agricultural science. 2018. No. 6. Pp. 3–6. (In Russian.)
2. Timina M. A., Kobylanskiy V. D., Butkovskaya L. K. Ispol'zovanie pervichnogo semenovodstva ozimoy rzhi [The use of primary seed production of winter rye] // Bulletin of KrasGAU. 2020. No. 5. Pp. 48–53. (In Russian.)
3. Nikitina V. I., Kolichenko A. A. Otsenka ekologicheskoy stabil'nosti sortov yarovoy myagkoy pshenitsy na sortouchastkakh Krasnoyarskogo kraya // [Assessment of the ecological stability of spring soft wheat varieties at the variety sites of the Krasnoyarsk Territory] // Bulletin of KrasGAU. 2019. No. 3. Pp. 58–64. (In Russian.)
4. Pakul' V. N., Martynova S. V., Androsov D. E. Otsenka adaptivnoy sposobnosti i stabil'nosti yarovogo yachmenya v usloviyakh severnoy lesostepi Kuznetskoy kotloviny [Assessment of the adaptive capacity and stability of spring barley in the conditions of the northern forest-steppe of the Kuznetsk basin] // Achievements of science and technology of AIC. 2018. Vol. 32. No.1. Pp. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10106. (in Russian.)
5. Manukyan I. R., Basiyeva M. A., Miroshnikova E. S., Abiyev V. B. Otsenka adaptivnosti genotipov ozimoy pshenitsy k zasushlivym usloviyam predgornoy zony Tsentral'nogo Kavkaza // [Assessment of the adaptability of winter wheat genotypes to the arid conditions of the foothill zone of the Central Caucasus] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 5 (184). Pp. 16–22. DOI: 10.32417/article_5d5151b14b9cf7.14014444. (In Russian.)
6. Chekanin S. G., Os'kin A. A., Seyfulina S. Kh. et. al. Otsenka vliyaniya razlichnykh tipov zasukh na produktivnost' vozdeleyvaniya kul'tur [Assessment of the impact of various types of droughts on the productivity of cultivation of crops] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 1 (81). Pp. 19–23. (In Russian.)
7. Mal'tseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Katayeva N. V. Vliyanie zasukh na khozyaystvenno tsennyye priznaki yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh lesostepnoy zony Kurganskoy oblasti [Influence of droughts on economically valuable signs of spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe zone of the Kurgan region] // Bulletin of the Omsk State University. 2021. No. 3 (43). Pp. 25–34. (In Russian.)
8. Nemtsev S. I., Sharipova R. B. Otsenka agrometeorologicheskikh pokazateley atmosferykh zasukh i urozhaynost' zernovykh kul'tur v izmenyayushchikhsya usloviyakh regional'nogo klimata [Assessment of agrometeorological indicators of atmospheric droughts and grain yields in changing regional climate conditions] // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2020. Iss. 1. Pp. 10–16. (In Russian.)
9. Mukhitov L. A., Timoshenkova T. A. Sorta yarovoy tverdoy pshenitsy, adaptirovannyye k usloviyam stepi Ural'skogo regiona [Varieties of spring durum wheat adapted to the conditions of the steppe of the Ural region] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 3 (89). Pp. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19. (In Russian.)
10. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Zasukha i gidrotermicheskiy koeffitsiyent uvlazhneniya kak odin iz kriteriyev otsenki stepeni yeye intensivnosti (obzor literatury) [Drought and hydrothermal moisture coefficient as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (literature review)] // Grain farming of Russia. No. 6 (66). Pp. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22. (In Russian.)
11. Maksyutov N. A., Zorov A. A., Skorokhodov V. Yu. et al. Urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh zasukhi stepnoy zony yuzhnogo Urala [Crop productivity in drought conditions of the steppe zone of the southern Urals] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 5 (79). Pp. 20–23. (in Russian.)
12. Yanchenko V. I., Rozova M. V., Mel'nik V. M. Ispol'zovaniye zasukhoustoychivogo genofonda tverdoy yarovoy pshenitsy v sozdaniy vysokoadaptivnykh sortov sibirskogo ekotipa [The use of the drought-resistant gene pool of hard spring wheat in the creation of highly adaptive varieties of the Siberian ecotype] // Vestnik regional'noy seti po vnedreniyu sortov pshenitsy i semenovodstvu. 2004. No. 1-2 (7-8). Pp. 31–36. (In Russian.)
13. Kobylanskiy V. D., Safonova I. V., Solodukhina O. V., Anis'kov N. I. Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhranenyu mirovoy kolleksii rzhi [Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of rye]. Saint Petersburg: VIR, 2015. 44 p. (In Russian.)

14. Kalybekova Zh. T., Tsygankova V. I., Zuyev E. V., Novikova L. Yu. Ispol'zovaniye indeksov zasukhoustoychivosti pri izuchenii kollektssii yarovoy pshenitsy v usloviyakh Aktyubinskoy oblasti [The use of drought resistance indices in the study of spring wheat collection in the conditions of the Aktobe region] // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183. No. 3. Pp. 85–89. DOI: 10.30901-2227-8834-2022-3-85-89. (In Russian.)
15. Pakul' V. N., Plisko L. G. Zasukhoustoychivost' sortov yarovoy myagkoy pshenitsy [Drought resistance of spring soft wheat varieties] // International Scientific Research Journal. 2018. No. 2 (789). Pp. 49–52. (In Russian.)
16. Vasilevskiy V. D. Indeksnyaya otsenka zasukhoustoychivosti sortov myagkoy yarovoy pshenitsy raznykh grupp spelosti v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Index assessment of drought resistance of varieties of soft spring wheat of different ripeness groups in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019. Pp. 159–161. (In Russian.)
17. Kravchenko N. S., Likhovidova V. A., Skripka O. V. Kachestvo zerna i zasukhoustoychivost' sortov ozimoy myagkoy pshenitsy [Grain quality and drought resistance of winter soft wheat varieties] // Grain farming of Russia. 2018. No. 1 (55). Pp. 52–56. (In Russian.)
18. Sayfutdinova D. D., Ponomareva M. L., Ilalova L. V. Formirovaniye urozhaynosti i kachestva zerna ozimoy rzhi v usloviyakh nedostatochnogo uvlazhneniya [Formation of yield and quality of winter rye grain in conditions of insufficient moisture] // Grain farming of Russia. 2022. Vol. 14. No. 5. Pp. 84–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-84-90. (In Russian.)
19. Nuzhdina N. N., Ermolayeva T. Ya., Kayrgaliyeva D. V., Likholetova E. A. Urozhaynost' i kachestvo zerna sovremennykh sortov ozimoy rzhi [Yield and grain quality of modern varieties of winter rye] // Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2018. No. 3 (51). Pp. 165–172. (In Russian.)
20. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gil'mullina L. F., Ilalova L. V., Vafina G. S. Novyy sort ozimoy rzhi Zilant s shirokoy adaptatsiyey [A new variety of winter rye Zilant with wide adaptation] // Grain farming of Russia. 2021. No. 1 (73). Pp. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13. (In Russian.)
21. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1978. No. 21 (6). Pp. 943–946.
22. Bouslama M., Schapaugh W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance // *Crop Science*. 1984. Vol. 24. Pp. 933–937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.
23. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops // *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. № 7. Pp. 85–87.
24. Fernandez G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance // Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water stress tolerance. Tainan, 1992. Pp. 257–270.
25. Zykin A. A., Meshkov V. V., Sapega V. A. Parametry ekologicheskoy plastichnosti sel'skokhozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz: metodicheskiye rekomendatsii [Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: methodological recommendations]. Novosibirsk: Sibirskoye otdeleniye VASKHNIL, 1984. 24 p. (In Russian.)
26. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. 5th edition. Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russian.)
27. Novokhatin V. V. Ekologicheskaya selektsiya myagkoy pshenitsy [Ecological selection of soft wheat] // Optimizatsiya selektsionnogo protsessa – faktor stabilizatsii i rosta produktsii rasteniyevodstva Sibiri (OSP–2019): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Krasnoyarsk, 2019. Pp. 92–103. (In Russian.)
28. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatuyeva L. I. Metodiki vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu urozhaynosti [Methods for identifying the potential productivity of varieties and breeding forms of winter wheat according to the “yield” indicator] // Seleksiya i semenovodstvo. 2014. No. 2. Pp. 2–6. (In Russian.)

Authors' information:

Irina V. Safonova¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0001-8138-930X, AuthorID 430608; +7 931 542-74-29, isafonova@vir.nw.ru

Nikolay I. Aniskov¹, doctor of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-7819-8286, AuthorID 260589; +7 812 571-00-14, n.aniskov@vir.nw.ru

¹Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Saint Petersburg, Russia

Влияние основных типов химизма степени засоления почв и техногенных грунтов на всхожесть семян фитомелиорантов

Л. Н. Скипин¹, Е. В. Захарова¹✉, Н. Н. Дюкова²

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Аннотация. Цель исследования – установить уровни влияния химизма и степени засоления на наступление половинной ($СД_{50}$) и полной ($СД_{99}$) гибели семян люцерны синегибридной и донника желтого. Задачи исследования: выявить степень участия каждого фактора на гибель семян бобовых трав с использованием коэффициента корреляции и детерминации; провести сравнительную оценку на солеустойчивость семян донника и люцерны. **Методы.** В качестве объектов изучения выбраны основные природные типы засоления, характерные для лесостепной зоны Западной Сибири. Энергия прорастания и всхожесть семян определялась по ГОСТ 12038-84. Модельные варианты солевых растворов для проращивания семян донника и люцерны создавались с учетом пропорций формирования основных типов засоления. Типы засоления представлены сульфатно-содовым, сульфатно-хлоридным (нейтральным) и гипсованным хлоридно-сульфатным солонцом. **Научная новизна.** Аналогичным условиям засоления соответствуют буровые шламы, хранящиеся в амбарах при добыче углеводородного сырья. Искусственное засоление водно-солевых растворов с заданной концентрацией позволило выявить половинную ($СД_{50}$) и полную гибель ($СД_{99}$) семян донника и люцерны при соответствующем уровне и химизме засоления. Сравнение нейтрального и сульфатно-содового засоления показало, что наличие соды в растворе на 86–87 % определяет его токсичность. Отрицательное действие нейтрального засоления в большей степени появляется за счет повышения осмотического давления. Наличие гипса в питательном солевом растворе снижало токсичность для семян культур-фитомелиорантов в 1,9–2,5 раза. **Результаты.** Установлено, что в условиях нейтрального и сульфатно-содового засоления растения испытывают острый дефицит кальция. Внесение гипса при химической мелиорации солонцов и буровых шламов устраняет этот дефицит. Установление показателей ($СД_{50}$) позволяет корректировать норму высева семян фитомелиорантов. Показатель ($СД_{99}$) указывает на целесообразность внесения гипса на солонцах и буровых шламах.

Ключевые слова: химизм, степень засоления, фитомелиоранты, корреляция, детерминация, токсичность, гипс, сода, хлориды, сульфаты.

Для цитирования: Скипин Л. Н., Захарова Е. В., Дюкова Н. Н. Влияние основных типов химизма степени засоления почв и техногенных грунтов на всхожесть семян фитомелиорантов // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 46–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-46-56.

Дата поступления статьи: 10.03.2023, **дата рецензирования:** 10.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

На территории Западной Сибири остро стоит проблема засоления и осолонцевания почв вследствие подъема уровня залегания минерализованных грунтовых вод выше критической глубины. При освоении солонцов и рекультивации техногенных засоленных грунтов важно учитывать тип засоления и концентрацию солей. В условиях Западной Сибири основными типами засоления солонцов являются сульфатно-содовые и нейтральные (сульфатно-хлоридный или хлоридно-сульфатный) [1, с. 1451].

Сульфатно-содовые солонцы типичны для условий северной лесостепи, нейтральные для южной. В качестве основных методов мелиорации данных почв используются агробиологический и химический, а также их комплексное сочетание. В качестве основных бобовых культур-фитомелиорантов чаще используются донник белый и желтый, люцерна синегибридная и желтая. Знание реакции данных культур на тип и степень засоления применительно к конкретным мелиорируемым участкам позволит корректировать нормы высева. В отдельных случа-

ях при высоком уровне токсичности солей следует отказаться от агробиологического метода освоения данных почв и грунтов и перейти к химической мелиорации [2, с. 394].

Создание разных типов и уровней засоления в модельных опытах даст возможность выявить концентрации, соответствующие полной гибели семян растений ($СД_{99}$) и половинной гибели ($СД_{50}$). Это достигается с использованием пробит-анализа для обработки результатов эксперимента по определению энергии прорастания и всхожести в модельных вариантах. Участие кальция в составе водорастворимых солей позволит определить реакцию семян растений при хлоридно-сульфатном засолении с гипсом.

В условиях Западной Сибири такой тип засоления появляется при гипсовании солонцов. Расчеты коэффициентов корреляции и детерминации дают возможность выявить действие каждого фактора в составе солей на жизнедеятельность семян фитомелиорантов, в частности, концентрации, качества солей и pH среды. Участие кальция в составе солей на жизнедеятельность семян растений изучено недостаточно. Напротив, его действие очень подробно исследовано по отношению к почвенно-поглощающему комплексу (ППК) с последующим изменением физико-химических и водно-физических свойств солонцов [3, с. 406].

В условиях гипсования солонцов основная часть кальция поглощается ППК, незначительная часть его переходит в почвенный раствор. Реакция семян донника и люцерны на присутствие кальция в растворе солей также позволит целенаправленно воздействовать на мелиоративный процесс при освоении солонцов и буровых шламов.

Методология и методы исследования (Methods)

Лабораторные опыты по изучению энергии прорастания и всхожести в зависимости от химизма и степени засоления проводились на трех типах засоления: нейтральном, сульфатно-содовом и хлоридно-сульфатном с гипсом. Тип засоления хлоридно-сульфатный с гипсом формируется при химической мелиорации с использованием природного гипса или фосфогипса – отхода химической промышленности. Все типы засоления тождественны солонцам и буровым шламам, с градацией от незасоленного уровня до солончака. Энергия прорастания и всхожесть семян определялась по ГОСТ 12038-84. В опытах использовались семена донника сорта Альшеевский и люцерны сорта Ярославна. Обработка результатов исследований осуществлялась с применением пробит-анализа для определения $СД_{50}$ и $СД_{99}$, а также с использованием корреляционного анализа для установления тесноты связей между концентрацией солей энергией прорастания и всхожестью.

В водной вытяжке изучаемых солонцов определялась щелочность от растворимых карбонатов, хлорид и сульфат-ионы, кальций и магний соответственно, потенциометрически, argentометрически по Мору, по Айдиняну и комплексометрически.

Значение поглощенных оснований Ca, Mg и Na, а также емкость поглощения почвы и pH водный определялись соответственно комплексонометрически по методу Антипова – Каратаева, по Захарчуку и потенциометрически.

Результаты (Results)

Солонцы и засоленные почвы в Западной Сибири занимают 32 % сельскохозяйственных угодий, при этом используются крайне неэффективно в силу их низкой продуктивности и плохом кормовом достоинстве. Характер и степень засоления во многом определяют природные грунтовые воды. Минерализация их с севера на юг повышается от 1 до 25 г/л и более. При этом тип засоления изменяется от сульфатно-содового к сульфатно-хлоридному, или хлоридно-сульфатному [4, с. 178; 5, с. 52].

По составу солей солонцы могут быть нейтральными, если в них доминируют хлориды или сульфаты натрия. В других типах солонцов в больших количествах содержится сода [6, с. 443].

Почвы, подвергшиеся содовому засолению, характеризуются чрезвычайно высокой пептизованностью коллоидов, что приводит к крайне неблагоприятным физическим свойствам как при увлажнении, так и при высыхании. Щелочные соли при небольших концентрациях угнетающе действуют на растения [7, с. 19; 8, с. 56].

В настоящее время существует реальная угроза роста площади земель, подверженных содовому засолению. Это сопряжено, как правило, с нерациональным использованием засоленных почв. Почвы содового засоления тяготеют к луговым условиям почвообразования. Их формирование связано с близким (1–3 м) уровнем слабоминерализованных щелочных грунтовых вод [9, с. 6].

Важно отметить, что площадь засоленных территорий в современный период увеличивается в местах добычи углеводородов. Это связано с образованием шламовых амбаров. Буровые шламы Западной Сибири имеют достаточно высокую степень засоления. Их токсичность во многом увеличивается за счет использования в буровых растворах кальцинированной и каустической соды [10, с. 146].

Методы мелиоративного освоения солонцов в условиях Западной Сибири можно считать разработанным. Залежные солонцы, в которых при мелиорации сохранился солонцовый горизонт, через короткий промежуток времени также восстанавливают свое строение и свойства. В данном случае самым эффективным считается химическая мелиорация, где в качестве мелиорантов, как правило, используются гипс, фосфогипс, сернокислое железо,

негашеная известь и др. Этот метод важно сочетать с подбором культур-фитомелиорантов. Среди бобовых трав для этих условий лучше подходят донник желтый и белый, а также люцерна синегибридная и желтогибридная [11, с. 1100].

Следует отметить, что указанные химизмы и степень засоления присущи буровым шламам. Сочетание выбуренной измельченной породы нейтрального типа засоления с буровым раствором содового химизма придает шламам аналогичные солонцам отрицательные физико-химические и водно-физиологические свойства. Они также обладают высокой дисперсностью, щелочностью, токсичностью, заплываемостью, отсутствием фильтрационной способности и аэрации [12, с. 75].

Изучение реакции семян культур-фитомелиорантов на химизм и степень засоления позволит целенаправленно подходить к процессу рекультивации засоленных почв и буровых шламов.

В качестве объекта изучения нами выбраны солонцы сульфатно-содового засоления (разрез 1), они являются типичными для лесостепи Тюменской области (Омутинский район). Нейтральные солонцы (разрез 2) представлены из южной лесостепи (Сладковский район). Хлоридно-сульфатный солонец (разрез 3) представлен после гипсования дозой для слоя 0–30 см (43 т/га) опытного участка

Омутинского района. [13, с. 266]. Солевые профили данных солонцов представлены на рис. 1.

Запасы солей в исходном солонце (разрез 1) по годам могут колебаться от 40 до 58 т/га. Максимальная миграция солей сосредоточена в солонцовом и подсолонцовом горизонтах. Тип засоления формируется здесь как сульфатно-содовый, то есть с преобладанием соды, качественный состав катионов характеризуется как магниевно-натриевый. Содержание сульфатов и хлоридов уступает гидрокарбонатам. По глубине максимума нахождения солей данный солонец является солончаковым (5–30 см).

В подсолонцовом горизонте реакция среды колеблется от нейтральной до слабощелочной. В солонцовом горизонте и глубже по профилю щелочность формируется за счет HCO_3^- и в небольших количествах CO_3^{2-} , на втором месте по распространенности стоит SO_4^{2-} , а затем Cl^- . Запас солей в почвах сульфатно-содового засоления, как правило, бывает ниже, чем в солонцах нейтрального засоления, при этом токсичность и своеобразие данных менее засоленных земель для сельскохозяйственных растений обусловлены щелочным характером засоления. Характерной чертой почв сульфатно-содового засоления является залегание под ними относительно пресных грунтовых вод (0,5–5,0 г/л), чаще всего слабощелочных. Солевой профиль опытного солонца имеет три характерные зоны.

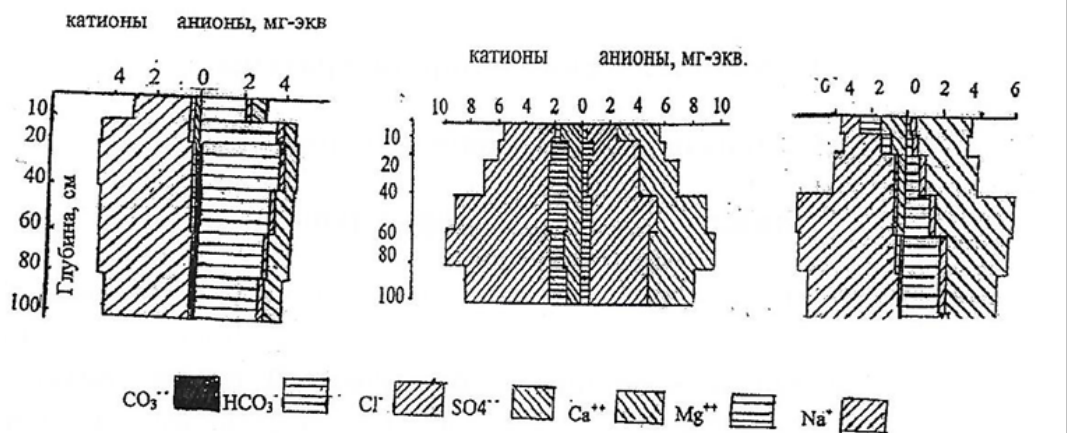


Рис 1. Солевые профили солонцов слева направо: сульфатно-содовый; сульфатно-хлоридный; хлоридно-сульфатный с гипсом

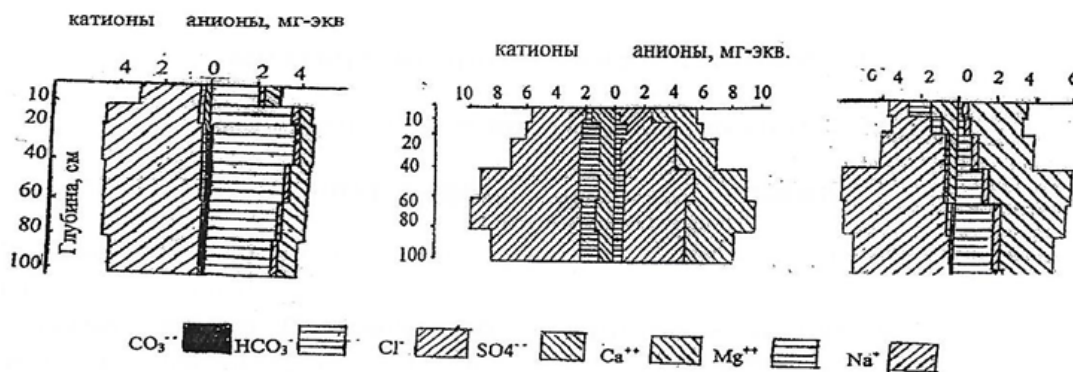


Fig. 1. Salt profiles of salt pans from left to right: sulfate-soda; sulfate-chloride; chloride-sulfate with gypsum

Первая зона имеет содержание солей незначительное (0,1–0,3 %), вторая зона характеризуется наибольшим скоплением солей (0,3–0,6 %), третья – менее 0,3 %. Данные особенности по распределению солей происходят по глубинам от 0–10 см, с 10 до 100–130 см и от 100–130 до 190 см. В течение года возможно перераспределение солей по профилю под действием уровня грунтовых вод, осадков, температуры и растений [14, с. 650; 15, с. 1701].

Емкость поглощения варьирует по всему профилю разреза от 23 до 34 мг·экв/100 г. Максимум ее приходится на солонцовый и подсолонцовый горизонты, это явление увязывается здесь с накоплением илистой фракции. Изучаемый корковый солонец в плане мелиоративного освоения является очень трудным, так как обладает очень высокой солонцеватостью. Содержание обменного натрия в солонцовом горизонте может превышать 72 % от емкости поглощения. Градация многонариевости составляет 40 %. Доза гипса на вытеснение обменного натрия с учетом нейтрализации соды в слое 0–30 см составляет 43 т/га.

Эффект действия одноразового внесения гипса в солонцы постепенный и длительный, продолжающийся в течение нескольких десятков лет. При внесении полной расчетной нормы гипса из почвенного профиля солонцов вытесняется практиче-

ски весь натрий, что снижает развитие солонцового процесса почвообразования [16, с. 378].

Почвенный разрез 2 относится к нейтральному химизму засоления. Качественный состав катионов по профилю изменяется от натриевого до натриево-кальциевого. Количество легкорастворимых солей в почвенном профиле содержится от 0,385 до 0,492 %. Вглубь по профилю их содержание увеличивается, максимальное накопление их приурочено к горизонту В_к. В отличие от солонцов сульфатно-содового засоления, здесь по всему профилю нормальная сода отсутствует. Количество обменного натрия в солонцовом горизонте составило 25,3 % от емкости обмена, по принятой классификации он относится к градации перехода от малонатриевого к средненатриевому. Емкость поглощения мелиорируемого слоя (0–30 см) составляет 33,7–35,5 мг·экв/100 г. Средняя расчетная доза гипса по Гедройцу составляет (для слоя 0–30 см) 21,2 т/га.

Разрез 3 представлен гипсованным солонцом и взят за основу создания модели солонца хлоридно-сульфатного засоления с гипсом. В солевом профиле данного солонца исчезает нормальная сода по всему профилю, гидрокарбонатная сода исчезает в слое внесения мелиоранта и уменьшается вглубь по профилю разреза.

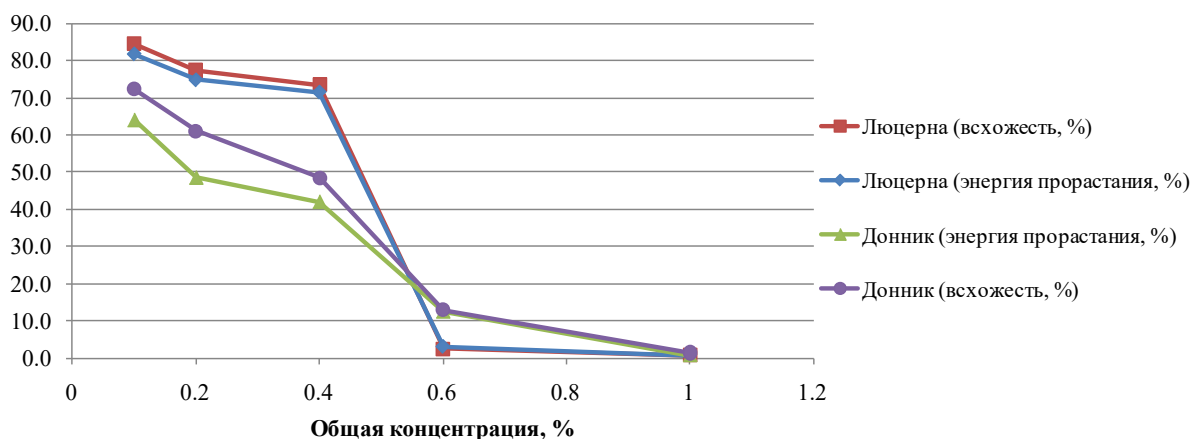


Рис. 2. Изменение энергии прорастания и всхожести семян донника и люцерны при сульфатно-содовом засолении

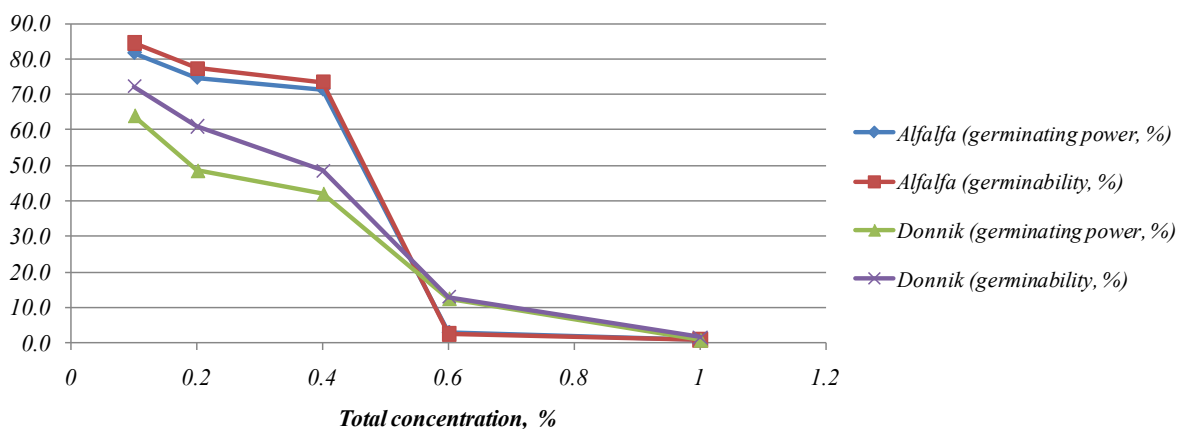


Fig. 2. Change in the germination energy and germination of the seeds of sweet clover and alfalfa during sulfate-soda salinization

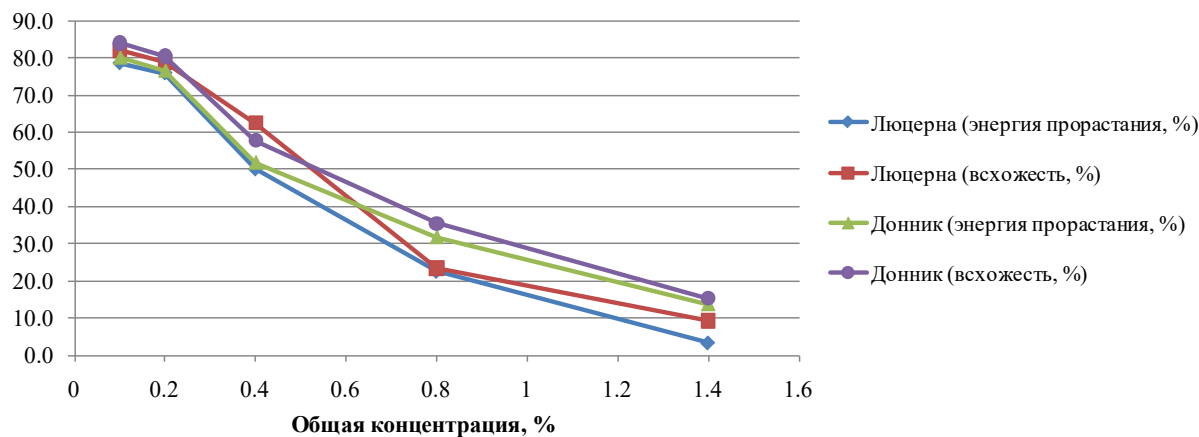


Рис. 3. Изменение энергии прорастания и всхожести семян донника и люцерны при сульфатно-хлоридном засолении

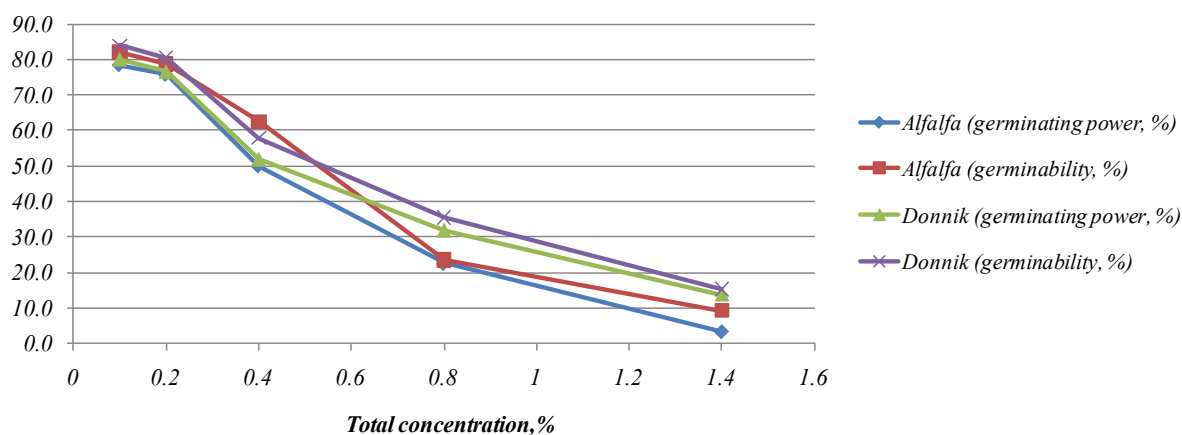


Fig. 3. Changes in the germination energy and germination of seeds of sweet clover and alfalfa during sulfate-chloride salinization

При внесении гипса увеличивается содержание продуктов обменных реакций (Na_2SO_4). Улучшение водно-физических свойств мелиорируемого солонца способствует оттоку продуктов обменных реакций, особенно в первые годы мелиоративного освоения. Глубокая обработка с разрушением солонцового горизонта усиливает этот процесс [17, с. 1429].

Результаты исследований свидетельствуют о том, что доминирование соды в составе легкорастворимых солей оказывает преобладающее влияние на снижение энергии прорастания и всхожести семян донника и люцерны. Результаты исследований влияния соды на снижение энергии прорастания и всхожести семян донника и люцерны наглядно отображены на рис. 2.

Так, опытные данные по сульфатно-содовому засолению питательного раствора с преобладанием соды показывают, что здесь происходит максимальное снижение энергии прорастания и всхожести семян изучаемых культур в сравнении с нейтральным (сульфатно-хлоридным) засолением (рис. 3).

Половинная CD_{50} и полная гибель семян донника и люцерны CD_{99} отмечалась при сульфатно-содовом засолении при концентрации раствора 0,25–0,28 % и 0,78–0,80 % соответственно. Реакция среды $\text{pH}_{\text{вод}}$ при указанных уровнях засоления составила со-

ответственно 9,2–9,3 и 9,5–9,6. Указанные уровни pH соответствуют сильнощелочной градации изучаемых растворов. Повышение щелочности на 0,3 единицы способно приводить от CD_{50} к полной гибели семян CD_{99} . Показатель осмотического давления при 50-процентной гибели семян находился на уровне 1,7 атм. При полной гибели семян осмотическое давление составило 4,5 атм.

Корреляционный анализ между общей концентрацией солей в растворе сульфатно-содового засоления энергией прорастания и всхожестью показал очень сильную обратную связь ($r = -0,93$). При этом показатель коэффициента детерминации свидетельствует, что энергия прорастания и всхожесть семян донника и люцерны на 86–87 % обусловлены наличием соды в засоленном питательном растворе. Оставшиеся 13–14 % приходятся на долю влияния хлоридов и сульфатов натрия.

Известно, что степень токсичности ионов оценивается по эквиваленту ионов Cl^- , который принимается за единицу. Чаще такая оценка используется для сравнения отдельных ионов. Полагаем, что для оценки типичных почвенных химизмов засоления этот эквивалент также можно использовать. За единицу принимается концентрация ионов Cl^- , соответствующая полной гибели семян донника и

люцерны. Эквивалент токсичности сульфатно-содового засоления по отношению к Cl будет соответствовать для донника и люцерны 0,36. Это вызвано тем, что токсичность типично сульфатно-содового засоления для лесостепной зоны Тюменской области в три раза выше хлоридного засоления.

Нейтральный химизм раствора характерный для южной лесостепи обеспечивал значительно меньшую токсичность для опытных семян. Так, половинная (CD_{50}) и полная гибель (CD_{99}) семян донника и люцерны находились на уровне засоления 0,35–0,48 % и 1,8–2,0 % соответственно. При этом донник здесь обладал несколько большей устойчивостью.

Реакция среды $pH_{вод}$ по указанным уровням засоления соответствовала 6,8–7,0 и 9,3, осмотическое давление составило 2,5–3,0 и 10,4 атм. Полная гибель семян фитомелиорантов происходила здесь при осмотическом давлении в два раза более высоком, чем при сульфатно-содовом засолении. Токсичность в данном случае во многом определяется высокой концентрацией нейтральных солей и осмотическим давлением.

Корреляционный анализ между общей концентрацией солей в питательном сульфатно-хлоридном (нейтральном) растворе и энергией прорастания семян фитомелиорантов у донника показал среднюю обратную связь ($r = -0,47$) этот показатель по всхожести соответствовал сильному уровню ($r = -0,98$). Это характеризует культуру донника еще на стадии прорастания как более устойчивую к засолению. Зависимость энергии прорастания и всхожести семян люцерны от концентрации нейтральных солей была сильной и обратной ($r = -0,97$). Коэффициент детерминации по всхожести семян изучаемых культур находился в пределах 93–95%. На долю других факторов, определяющих этот процесс, приходится 5–7 %.

Эквивалент токсичности сульфатно-хлоридного засоления по отношению к Cl составил для донника и люцерны 0,7 и 0,8 соответственно. Это обусловлено тем, что сочетание хлоридов и сульфатов в условиях нейтрального засоления увеличивает эк-

вивалент токсичности по отношению к одному хлору. Данное явление происходит за счет принципа синергизма.

Известно, что внесение гипса на засоленных почвах и грунтах коренным образом улучшает их водно-физические и физико-химические свойства. В частности, происходит их разуплотнение, увеличиваются фильтрационная способность, пористость общая и аэрации, улучшается водопрочность агрегатов за счет коагуляции коллоидов, уменьшается рН среды.

По данным Н. В. Семендяевой, при резком поднятии уровня грунтовых вод с 250 до 50 см зафиксировано вторичное засоление. В профиле почв установлено увеличение содержания легкорастворимых солей и величины рН, тем самым изменяется характер засоления. В почвенном поглощающем комплексе возрастает содержание обменного натрия. После снижения уровня грунтовых вод происходит рассоление мелиорированных солонцов и частичное восстановление положительного действия гипса. Однако такие явления в природе встречаются очень редко [18, с. 5].

Исследования по влиянию легкорастворимых солей с присутствием гипса свидетельствует о снижении токсичности раствора на семена бобовых трав представлено на рис. 4.

Представленные результаты исследований характеризуют ослабление вредоносности легкорастворимых солей для семян донника и люцерны в присутствии сернокислого кальция. Так, гибель семян данных культур при CD_{50} соответствует 0,63 и 0,54 %, что в 1,3–2,5 раза менее токсично по сравнению с исходным сульфатно-содовым засолением. Аналогичная закономерность проявлялась по отношению к показателю CD_{99} ; здесь полная гибель семян данных культур наступала при концентрации 4,1 и 3,4 %, что ослабляло токсичность в сравнении с исходным сульфатно-содовым засолением в 4,3–5,2 раза. Солеустойчивость семян донника была незначительно выше, чем люцерны, только на предельных уровнях засоления.

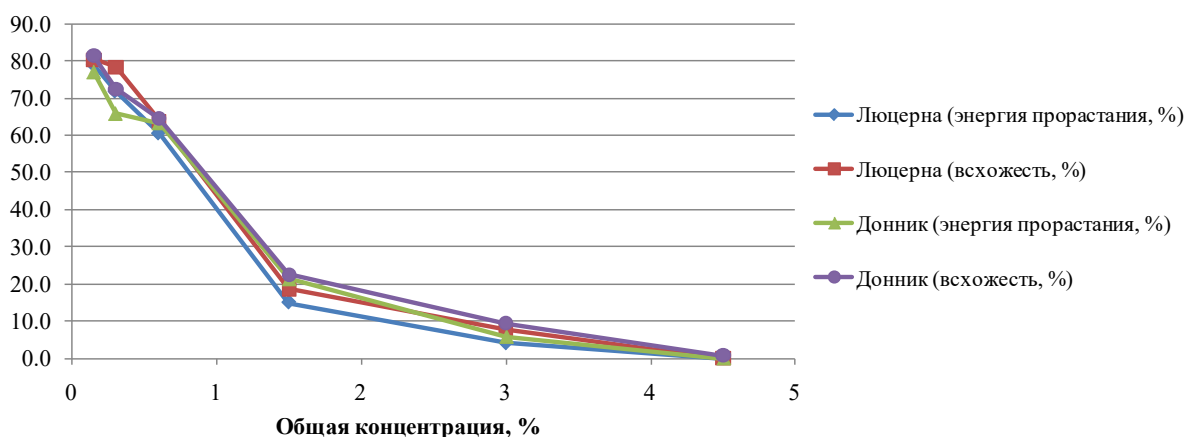


Рис. 4. Влияние легкорастворимых солей с присутствием гипса на снижение токсичности раствора на семенах бобовых трав

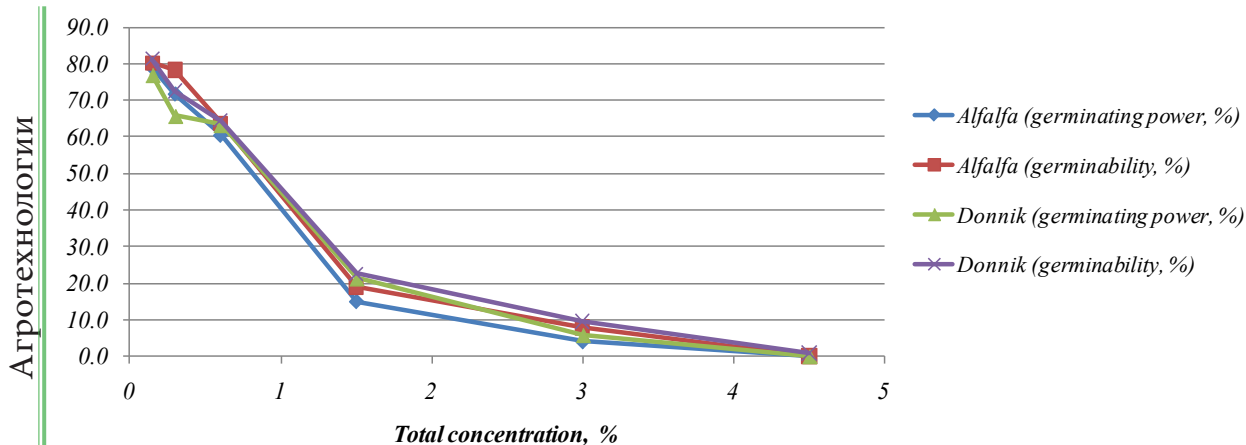


Fig. 4. The effect of easily soluble salts with the presence of gypsum on reducing the toxicity of the solution on legume seeds

При наличии гипса в солевом растворе $pH_{\text{вод}}$ по всем опытным вариантам варьировало в пределах 5,0–7,3. Осмотическое давление при CD_{50} находилось на уровне 5,5–6,1 атм, а при CD_{99} – 17,0–24,0 атм. Наличие гипса в составе солей позволяет снижать отрицательное действие осмотического давления в 3,7–5,3 раза в сравнении с сульфатно-содовым засолением.

Корреляционная зависимость между общей концентрацией солей и показателем всхожести у семян люцерны была обратной и сильной ($r = -0,91$), у донника аналогичный показатель составил ($r = -0,93$). В условиях сильного ослабления токсичности солей в присутствии гипса происходит нивелирование реакции семян данных культур по энергии прорастания и всхожести.

Показатель детерминации свидетельствует, что наличие гипса в солевом растворе на 81 и 86 % определяют всхожесть и энергию прорастания донника и люцерны в питательном солевом растворе. Зависимость данных показателей от действия других солей составляет 14–19 %. В почвенных условиях это усиливается за счет коренного улучшения водно-физических и физико-химических свойств гипсованного солонца или техногенного грунта.

При хлоридно-сульфатном засолении с гипсом эквивалент токсичности по отношению к CI для донника и люцерны составил соответственно, 1,4 и 1,5. Участие кальция гипса снижало токсичность солей по отношению к культурам-фитомелиорантам.

Принято считать, что положительное влияние гипса на жизнедеятельность растений проявляется за счет улучшения водно-физических и физико-химических свойств засоленных грунтов и почвы. Однако отсутствие в опыте почвы и грунта как объекта исследований свидетельствует о значительном дефиците кальция в засоленных средах нейтрального и особенно содового химизма. Это указывает на обязательность внесения гипса на солонцах и буровых шламах для улучшения их вышеперечис-

ленных свойств и устранения дефицита кальция для растений.

Опыт показывает, что повышенная концентрация солей при гипсовании за счет появления продуктов обменных реакций (Na_2SO_4) на первоначальном этапе химической мелиорации не приводит к снижению продуктивности культур-фитомелиорантов. Данное явление происходит за счет устранения лимита кальция в почвенном растворе. Важно отметить, что отток продуктов обменных реакций до уровня исходного происходит в процессе мелиорации медленно (до 3–6 лет в зависимости от условий увлажнения и дозы коагулянта). Последующий отток солей происходит десятками лет. При этом щелочная реакция среды снижается по мере нейтрализации соды, однако водно-физические свойства при гипсовании улучшаются кардинально быстро. Содержание обменного натрия снижается от уровня многонатриевого (более 45 % от емкости обмена), до остаточного натриевого (4 %).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты сравнительного изучения нейтрального (сульфатно-хлоридного) и сульфатно-содового засоления на жизнедеятельность семян донника и люцерны показали, что участие соды в составе солей увеличивает полную гибель семян данных культур в 2,2–2,5 раза сильнее.

Внесение кальция и гипса коренным образом улучшает благоприятные условия для повышения энергии прорастания и всхожести семян донника желтого и люцерны синегридной. Ослабление токсичности здесь происходит в 4,3–5,2 раза в сравнении с сульфатно-содовым засолением. Показатель гибели семян фитомелиорантов на фоне сульфатно-содового засоления с участием гипса снижался за счет уменьшения щелочности и устранения дефицита кальция. В условиях рекультивации солонцов и буровых шламов внесение гипса дополнительно улучшает водно-физические и физико-химические свойства данных объектов.

Библиографический список

1. Елизаров Н. В., Попов В. В., Семендяева Н. В. Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1451–1459. DOI: 10.31857/S0032180X20120059.
2. Семендяева Н. В., Ломова Т. Г. Итоги исследований по изучению генезиса, свойств и мелиорации солонцов юга Западной Сибири // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия: материалы научно-производственной конференции с международным участием. Тюмень, 2018. С. 394–405.
3. Скипин Л. Н., Федоткин В. А. Результативность действия химической мелиорации солонцов в условиях Западной Сибири // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия: материалы научно-производственной конференции с международным участием. Тюмень, 2018. С. 406–414.
4. Семендяева Н. В. Особенности формирования профиля солонцов юга Западной Сибири // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сборник III Всероссийской (национальной) научной конференции. Новосибирск, 2018. С. 178–183.
5. Федоткин В. А., Рзаева В. В., Фисунов Н. В., Харалгина О. С., Миллер С. С. Обработка почвы в Западной Сибири: учебное пособие. Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2018. 138 с.
6. Скипин Л. Н., Петухова В. С., Скипин Д. Л. Эколого-экономические аспекты освоения солонцов в Тюменской области // Тюменская область: историческая ретроспектива, реалии настоящего, контуры будущего: сборник статей международной научной конференции. Тюмень : ТИУ, 2019. С. 443–448.
7. Simakova T. V., Simakov A. V., Starovoitova E. S., Skipin L. N., Chernykh E. G. // Formation of a sustainable system is the basis of rational land use managements Espacios. 2019. Vol. 40. No. 20. Pp. 19–26.
8. Попов В. В., Семендяева Н. В. Состав почвенных растворов засоленных агроландшафтов центральной лесостепи Ишимской равнины // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ. Новосибирск, 2019. С. 56–58.
9. Добротворская Н. И., Семендяева Н. В., Морозова А. А. Элементный состав почв засоленных агроландшафтов причановской депрессии и их санитарно-гигиеническая оценка // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 2. С. 5–15.
10. Тарасова С. С., Гаевая Е. В. Восстановление растительного покрова при рекультивации нарушенных земель нефтегазового комплекса // Социальное партнерство в области охраны окружающей среды и «зеленого» роста: материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2021. С. 146–151.
11. Любимова И. Н., Салпагарова И. А. Возможности и целесообразность возврата в сельскохозяйственный оборот мелиоративных солонцовых земель (обзор) // Почвоведение. 2020. С. 1100–1110. DOI: 10.31857/S0032180X20090099.
12. Тарасова С. С., Гаевая Е. В. Исследования токсичности буровых шламов и возможности их утилизации // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 75–79. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-3-75-79.
13. Скипин Л. Н., Скипин Д. Л., Бурлаенко В. З. Перспективы использования мелиоративного фонда солонцов в тюменской области // Селекция и технологии производства экологически безопасной продукции растениеводства в условиях меняющегося климата сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного агронома РФ профессора, доктора сельскохозяйственных наук Ю. П. Логинова. Тюмень, 2022. С. 266–271.
14. Семендяева Н. В. Взаимосвязь грунтовых вод с солевым профилем мелиорированных солонцов засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии: материалы Всероссийской (национальной) конференции, посвященной 90-летию гидромелиоративного факультета ОмСХИ (факультета водохозяйственного строительства ОмГАУ), 55-летию факультета агрохимии и почвоведения, 105-летию профессора, доктора географических наук, заслуженного деятеля науки РСФСР Мезенцева Варфоломея Семеновича. Омск, 2019. С. 649–656.
15. Elizarov N. V., Popov V. V., Semendyaeva N. V. Modern hydromorphism of solonchets in the forest-steppe zone of western Siberia // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. No. 12. Pp. 1701–1708. DOI: 10.1134/S1064229320120054.
16. Семендяева Н. В. Мониторинг натрия в химически мелиорированных солонцовых агроландшафтах барабы // Научные инновации – аграрному производству: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ. Омск, 2018. С. 387–390.
17. Semendyaeva N. V., Dobrotvorskaya N. I., Elizarov N. V. Secondary salinization of reclaimed solonchets and its aftereffect // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 11. Pp. 1429–1438. DOI: 10.1134/S1064229319110097.
18. Семендяева Н. В., Морозова А. А., Добротворская Н. И., Елизаров Н. В. Редкоземельные элементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 5–14. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-1.

Об авторах:

Леонид Николаевич Скипин¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности, ORCID 0000-0001-5778-9872, AuthorID 436872; +7 912 992-45-55, skipinln@tyuiu.ru
 Елена Викторовна Захарова¹, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности, ORCID 0000-0001-5874-2726, AuthorID 822843; +7 904 876-87-82, zaharovaev@tyuiu.ru
 Наталья Николаевна Дюкова², доктор биологических наук, профессор кафедры общей биологии, ORCID 0000-0002-4029-2808, AuthorID 316609; +7 912-928-77-98, natalya.dyukowa@yandex.ru

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

The influence of the main types of chemistry and the degree of salinity of soils and man-made soils on the germination of phytomeliorant seeds

L. N. Skipin¹, E. V. Zakharova¹✉, N. N. Dyukova²

¹ Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

² State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

✉ E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Abstract. The purpose and objectives of the study is to establish the levels of influence of chemistry and the degree of salinity on the onset of half (LD₅₀) and full (LD₉₉) death of seeds of alfalfa blue hybrid and yellow clover. To identify the degree of participation of each factor in the death of legume seeds using the correlation coefficient and determination. To conduct a comparative assessment of the salt resistance of the seeds of sweet clover and alfalfa. **Methods.** The main natural types of salinization characteristic of the forest-steppe zone of Western Siberia are selected as objects of study. The germination energy and germination of seeds were determined according to GOST 12038-84. Model variants of salt solutions for germination of seeds of sweet clover and alfalfa were created taking into account the proportions of the formation of the main types of salinization. The types of salinization are represented by sulfate-soda, sulfate-chloride (neutral), and gypsum chloride-sulfate salt. **Scientific novelty.** Drilling slurries stored in barns during the extraction of hydrocarbon raw materials correspond to similar salinization conditions. Artificial salinization of water-salt solutions with a given concentration made it possible to identify half (LD₅₀) and complete death (LD₉₉) of clover and alfalfa seeds at the appropriate level and chemistry of salinization. Comparison of neutral and sulfate-soda salinization showed that the presence of soda in the solution determines its toxicity by 86–87 %. The negative effect of neutral salinization appears to a greater extent due to an increase in osmotic pressure. The presence of gypsum in the nutrient saline solution reduced the toxicity to seeds of phytomeliorant crops by 1.9–2.5 times. **Results.** It has been established that under conditions of neutral and sulfate-soda salinization, plants experience an acute deficiency in calcium. The introduction of gypsum during chemical reclamation of salt pans and drilling slurries eliminates this deficiency. The establishment of indicators (LD₅₀) allows you to adjust the seeding rate of phytomeliorants. The indicator (LD₉₉) indicates the expediency of applying gypsum on salt pans and drilling slurries.

Keywords: chemistry, degree of salinity, phytomeliorants, correlation, determination, toxicity, gypsum, soda, chlorides, sulfates.

For citation: Skipin L. N., Zakharova E. V., Dyukova N. N. Vliyanie osnovnykh tipov khimizma stepeni zasoleniya pochv i tekhnogennykh gruntov na vskhozhest' semyan fitomeliorantov [The influence of the main types of chemistry and the degree of salinity of soils and technogenic soils on the germination of phytomeliorant seeds] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 46–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-46-56. (In Russian.)

Date of paper submission: 10.03.2023, **date of review:** 10.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

References

1. Elizarov N. V., Popov V. V., Semendyaeva N. V. Sovremennyy gidromorfizm solontsov lesostepnoy zony zapadnoy Sibiri [Modern hydromorphism of solonets in the forest-steppe zone of Western Siberia] // Pochvovedenie. 2020. No. 12. Pp. 1451–1459. DOI: 10.31857/S0032180X20120059. (In Russian.)

2. Semendyaeva N. V., Lomova T. G. Itogi issledovaniy po izucheniyu genezisa, svoystv i melioratsii solontsov yuga Zapadnoy Sibiri [Results of research on the genesis, properties and reclamation of salt flats in the South of Western Siberia] // Plodorodie pochv i otsenka produktivnosti zemledeliya: materialy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Tyumen, 2018. Pp. 394–405. (In Russian.)
3. Skipin L. N., Fedotkin V. A. Rezul'tativnost' deystviya khimicheskoy melioratsii solontsov v usloviyakh Zapadnoy Sibiri [The effectiveness of chemical reclamation of salt pans in Western Siberia // Plodorodie pochv i otsenka produktivnosti zemledeliya: materialy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Tyumen, 2018. Pp. 406–414. (In Russian.)
4. Semendyaeva N. V. Osobennosti formirovaniya profilya solontsov yuga Zapadnoy Sibiri [Features of the formation of the profile of salt lakes in the south of Western Siberia] // Rol agrarnoy nauki v ustoychivom razviti sel'skikh territoriy. Sbornik III Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchnoy konferentsii. Novosibirsk, 2018. Pp. 178–183. (In Russian.)
5. Fedotkin V. A., Rzaeva V. V., Fisunov N. V., Kharalgina O. S., Miller S. S. Obrabotka pochvy v Zapadnoy Sibiri [Tillage in Western Siberia] // Uchebnoe posobie prednaznachenno dlya studentov, prepodavateley, aspirantov. Tyumen', 2018. 138 Pp. (In Russian.)
6. Skipin L. N., Petukhova V. S., Skipin D. L. Ekologo-ekonomicheskie aspekty osvoeniya solontsov v Tyumenskoy oblasti [Ecological and economic aspects of the development of solonets in the Tyumen region] // Tyumenskaya oblast': istoricheskaya retrospektiva, realii nastoyashchego, kontury budushchego. sbornik statey mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 2019. Pp. 443–448. Tyumen': TIU (In Russian.)
7. Simakova T. V., Simakov A. V., Starovoitova E. S., Skipin L. N., Chernykh E. G. // Formation of a sustainable system is the basis of rational land use managements Espacios. 2019. Vol. 40. No. 20. Pp. 19–26.
8. Popov V.V., Semendyaeva N.V. Sostav pochvennykh rastvorov zasolennykh agrolandshaftov tsentral'noy lesostepi Ishimskoy ravniny [Composition of soil solutions of saline agricultural landscapes of the central forest-steppe of the Ishim plain] // Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa: sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley, aspirantov, magistrantov i studentov Novosibirskogo GAU. Novosibirsk, 2019. Pp. 56–58. (In Russian.)
9. Dobrotvorskaya N. I., Semendyaeva N. V., Morozova A. A. Elementnyy sostav pochv zasolennykh agrolandshaftov prichanovskoy depressii i ikh sanitarno-gigienicheskaya otsenka [Elemental composition of soils of saline agricultural landscapes of the Prichanov depression and their sanitary and hygienic assessment] // Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2019. Vol. 49. No. 2. Pp. 5–15. (In Russian.)
10. Tarasova S. S., Gaevaya E. V. Vosstanovlenie rastitel'nogo pokrova pri rekul'tivatsii narushennykh zemel' neftegazovogo kompleksa [Restoration of vegetation cover during reclamation of disturbed lands of the oil and gas complex] // Sotsial'noe partnerstvo v oblasti okhrany okruzhayushchey sredy "zelenogo" rosta. materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen', 2021. Pp. 146–151. (In Russian.)
11. Lyubimova I. N., Salpagarova I. A. Vozmozhnosti i tselesoobraznost' vozvrata v sel'skokhozyaystvennyy oborot meliorativnykh solontsovykh zemel' (Obzor) [Possibilities and expediency of the return of reclaimed salt lands to agricultural circulation (Review)] // Pochvovedenie. 2020. Pp. 1100–1110. DOI: 10.31857/S0032180X20090099. (In Russian.)
12. Tarasova S.'S., Gaevaya E.'V. Issledovaniya toksichnosti burovykh shlamov i vozmozhnosti ikh utilizatsii [Studies of the toxicity of drilling sludge and the possibility of their disposal] // Problemy regional'noy ekologii. 2021. No. 3. Pp. 75–79. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-3-75-79. (In Russian.)
13. Skipin L. N., Skipin D. L., Burlaenko V. Z. Perspektivy ispol'zovaniya meliorativnogo fonda solontsov v tyumenskoy oblasti [Prospects for the use of the Solonets reclamation fund in the Tyumen region] // Seleksiya i tekhnologii proizvodstva ekologicheskii bezopasnoy produktsii rastenievodstva v usloviyakh menyayushchegosya klimata: sbornik materialov Vserossiyskoy (national'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem posvyashchennaya 80-letiyu so dnya rozhdeniya zaslužhennogo agronoma RF professora, doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk Yu. P. Loginova. Tyumen, 2022. Pp. 266–271. (In Russian.)
14. Semendyaeva N. V. Vzaimosvyaz' gruntovykh vod s solevym profilom meliorirovannykh solontsov zasolennykh agrolandshaftov Barabinskoy ravniny [The relationship of groundwater with the salt profile of reclaimed salt flats of saline agricultural landscapes of the Barabinsk plain] // Aktual'nye problemy prirodoobustroystva, vodopol'zovaniya, agrokhimii, pochvovedeniya i ekologii. Materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) konferentsii, posvyashchennaya 90-letiyu gidromeliorativnogo fakul'teta OmSKhI (fakul'teta vodokhozyaystvennogo stroitel'stva OmGAU), 55-letiyu fakul'teta agrokhimii i pochvovedeniya, 105-letiyu professora, doktora geograficheskikh nauk, zaslužhennogo deyatelya nauki RSFSR Mezentseva Varfolomeya Semenovicha. Omsk, 2019. Pp. 649–656. (In Russian.)

15. Elizarov N. V., Popov V. V., Semendyaeva N. V. Modern hydromorphism of solonchets in the forest-steppe zone of western Siberia // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. No. 12. Pp. 1701–1708. DOI: 10.1134/S1064229320120054.
16. Semendyaeva N. V. Monitoring natriya v khimicheski meliorirovannykh solontsovykh agrolandshaftakh baraby [Monitoring of sodium in chemically reclaimed saline agricultural landscapes of Baraba] // Nauchnye innovatsii – agrarnomu proizvodstvu: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letnemu yubileyu Omskogo GAU. Omsk, 2018. Pp. 387–390. (In Russian.)
17. Semendyaeva N. V., Dobrotvorskaya N. I., Elizarov N. V. Secondary salinization of reclaimed solonchets and its aftereffect // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 11. Pp. 1429–1438. DOI: 10.1134/S1064229319110097.
18. Semendyaeva N. V., Morozova A. A., Dobrotvorskaya N. I., Elizarov N. V. Redkozemel'nye elementy v pochvakh zasolennykh agrolandshaftov Barabinskoy ravniny [Rare earth elements in soils of saline agricultural landscapes of the Baraba Plain] // Siberian Herald of Agricultural Science. 2021. Vol. 51. No 3. Pp. 5–14. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-1. (In Russian.)

Authors' information:

Leonid N. Skipin¹, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of technosphere safety, ORCID 0000-0001-5778-9872, AuthorID 436872; +7 912 992-45-55, skipinln@tyuiu.ru

Elena V. Zakharova¹, candidate of biological sciences, associate professor, associate professor of the department of technosphere safety, ORCID 0000-0001-5874-2726, AuthorID 822843; +7 904 876-87-82, zaharovaev@tyuiu.ru

Natalia Nikolaevna Dyukova², doctor of biological sciences, professor of the department of general biology, ORCID 0000-0002-4029-2808, AuthorID 316609; +7 912-928-77-98, natalya.dyukowa@yandex.ru

¹ Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

² State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

Значение масличных культур в повышении устойчивости растениеводства в природно-климатических условиях Южного Урала и Зауралья

Н. В. Степных^{1✉}, Е. В. Нестерова¹, А. М. Заргарян¹

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

✉ E-mail: nickolai.stepnyh@yandex.ru

Аннотация. Высокая засушливость климата Южного Урала и Зауралья, где расположены Курганская и Челябинская области, заставляет аграриев постоянно искать способы повышения устойчивости растениеводства. Легче переносят засуху в силу своих биологических особенностей и тем самым стабилизируют производство масличные культуры, при этом высокий внутренний и экспортный спрос на маслосемена способствуют тому, что в России с каждым годом увеличиваются посевные площади подсолнечника, рапса, сои и льна масличного. Их возделывание в сочетании с зерновыми позволяет равномернее по времени распределить организационную нагрузку при полевых работах, рациональнее использовать технические и трудовые ресурсы, снизить потребность в технике и амортизацию. **Цель** исследования – определить значение масличных культур, наиболее экономически эффективных для выращивания в условиях Южного Урала и Зауралья, в повышении экономической и экологической устойчивости растениеводства. **Задачи** – провести анализ погодных условий, производственных данных и экономической эффективности возделывания масличных культур в Курганской и Челябинской областях. Используются **методы** монографического, математического, статистического анализа данных из научной литературы, открытых статистических источников, агрономических и экономических отчетов сельхозпредприятий. **Научная новизна** исследования состоит в изучении значения масличных культур в повышении устойчивости растениеводства в связи с изменениями природно-климатических условий сельскохозяйственного производства. **Результаты** исследования показали, что высокие цены на маслосемена, стабилизирующие доходы предприятий, способствовали расширению посевных площадей масличных культур. Выявлено, что при одинаковом уровне затрат на возделывание масличных материальные ресурсы используются эффективнее по сравнению с зерновыми. Установлено, что при сложившихся в годы исследований погодных условиях и ценах на маслосемена экономическую устойчивость растениеводства среди масличных культур стабилизировал прежде всего наиболее засухоустойчивый подсолнечник. Урожайность зерновых культур в Курганской и Челябинской областях за последние пять (в том числе острозасушливых) лет имела тенденцию к снижению, а подсолнечника – к повышению и меньшим колебаниям по годам.

Ключевые слова: климат, засуха, масличные культуры, цены, экономическая эффективность, диверсификация посевных площадей, электронная книга истории поля.

For citation: Степных Н. В., Нестерова Е. В., Заргарян А. М. Значение масличных культур в повышении устойчивости растениеводства в природно-климатических условиях Южного Урала и Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 57–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-57-70.

Дата поступления статьи: 18.01.2023, **дата рецензирования:** 02.03.2023, **дата принятия:** 13.03.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Экономическая эффективность растениеводства оказывает существенное влияние на доходность сельхозпредприятий и благосостояние работников и в значительной степени зависит от факторов, связанных с природно-климатическими условиями и ценами на промышленные средства производства и произведенную продукцию. Разнообразии культур, адаптированных к соответствующим природным

и экономическим условиям, определяет устойчивость производства.

Значение диверсификации растениеводства заключается в выращивании культур с различными биологическими требованиями к условиям вегетации, что важно в условиях изменяющегося климата, который на территории Уральского федерального округа, особенно в Курганской и Челябинской областях, характеризуется частыми и продолжитель-

ными засухами. Выращивание разных культур позволяет минимизировать снижение доходов в случае снижения урожая одной из них [1]. В плодосменных севооборотах меньше накапливаются вредители – монофаги [2]. Культуры отличаются продолжительностью отдельных фаз развития и всего вегетационного периода, что позволяет более интенсивно и равномерно распределять ресурсы между ними, прежде всего использование техники во время полевое сезона. Увеличение загрузки технических средств ведет к повышению производительности производства, степени занятости рабочих и, соответственно, их заработной платы. В представленной статье авторы попытались установить значение масличных культур в повышении устойчивости растениеводства в связи с климатическими изменениями.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования выполнены в Курганском НИ-ИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в лаборатории экономики и инновационного развития. В исследовании использованы методы монографического, математического, статистического анализа [3], открытые данные метеостанций РФ, Госсортсети, отчетов сельхозпредприятий Курганской и Челябинской областей, литературных источников.

Результаты (Results)

Устойчивость сельскохозяйственного производства напрямую связана с климатической устойчивостью. Начало 20-х гг. XXI века ознаменовалось рекордными значениями среднегодовой температуры воздуха и проявлением острой засухи в ряде российских регионов и в мире в целом, что стало очередной проверкой АПК на прочность и эффективность агротехнологий.

Изменения климата в глобальном смысле происходят постоянно, но измеряются скорее столетними и тысячелетними периодами, поэтому на сельское хозяйство сегодняшнего дня принципиально не влияют. В то же время с 70-х гг. прошлого века климатологи отмечают четкую тенденцию потепления климата, причем последствия для АПК по всему миру распределяются неравномерно: в нашей стране в наибольшей степени они проявляются в лесостепной полосе усилением засушливости и потеплением зим, а также ростом теплообеспеченности сельскохозяйственных культур (суммы активных температур и продолжительности вегетационного периода); повышением зимних температур воздуха, определяющих условия перезимовки растений; изменением условий увлажнения в холодный и теплый периоды.

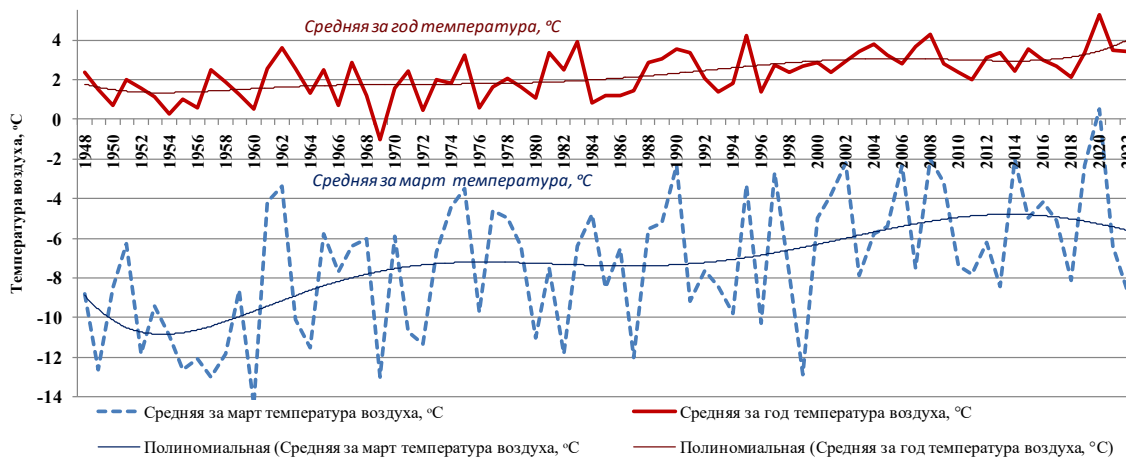


Рис. 1. Средняя температура воздуха за год и за март в 1948–2022 гг., г. Курган

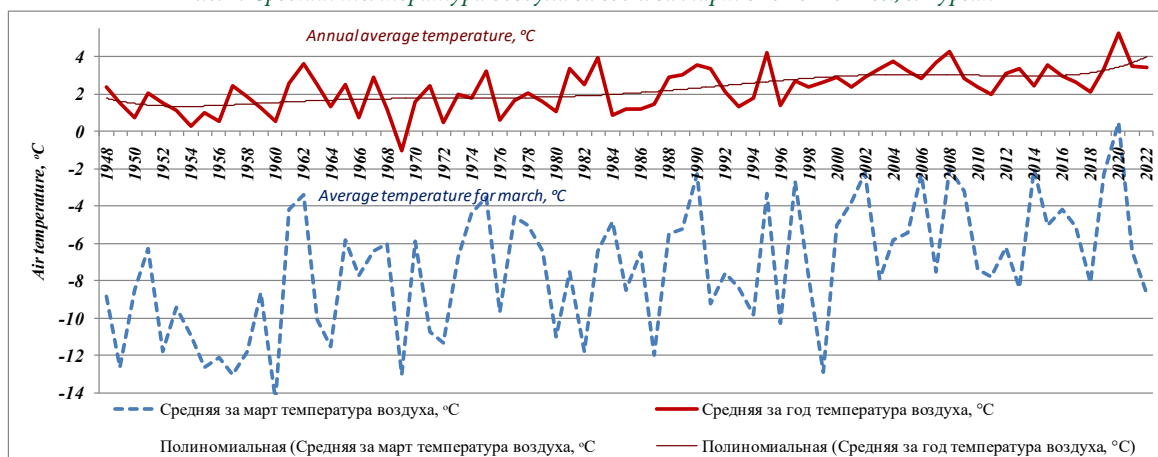


Fig. 1. Average air temperature for the year and for March in 1948–2022, Kurgan

Усиление засушливости климата грозит увеличением масштабов потерь в сельском хозяйстве. В годы сильных и обширных засух прошлых лет сокращение валовых сборов зерна в основных зернопроизводящих регионах достигало 40–50 % по сравнению с годами, благоприятными по условиям увлажнения [4].

По данным Г. В. Сафронова, климатообусловленная урожайность зерновых культур в Российской Федерации, связанная с потеплением климата, к 2030 г. ожидаемо снизится на 9 %, к 2050 г. – на 17 %, в Уральском федеральном округе – на 26 % и 38 % соответственно. На основе анализа многолетних климатических данных в период с 1891 по 2015 гг. в Уральском экономическом районе зафиксировано 24 засухи, их повторяемость составила 19 %. Больше было только в Поволжском и Центрально-Черноземном районах [5].

Засухи на Урале чаще всего встречаются в Курганской области. Например, по данным А. И. Страшной [5], в период с 1987 по 2016 гг. в области в мае отмечено 12 сильных засух ($ГТК \leq 0,60$), в июне их было 10, в июле – 7, в августе – 8. Это существенно выше, чем в Свердловской, Тюменской областях, менее существенно, но выше, чем в Челябинской области и регионах Западной Сибири. Вероятность сильных и средних засух ($ГТК \leq 0,80$) в мае – июле также наибольшая в Курганской области – 37 %, в мае – июне – 47 %, что значительно выше, чем в соседних регионах. Лишь Омская область несколько приближается к этим значениям [6].

Весенне-летние периоды 2020 и 2021 гг. по острому и продолжительному дефициту осадков на фоне высоких температур в течение двух месяцев в Курганской области оказались наиболее засушливыми: ГТК составил 0,16 за июнь – июль в 2020 г. и

0,12 за май – июнь в 2021 г. В Челябинской области такие значения ГТК были только по одному месяцу: по 0,15 и 0,14 в июне и в августе 2021 г. (по данным сайта <http://www.pogodaiklimat.ru>). Несмотря на то что в Зауралье и на Южном Урале периодическое возвращение засушливых лет является характерной особенностью, тем не менее в течение последних пяти десятилетий, так же как и в других областях, наблюдается уверенное повышение среднегодовой температуры воздуха в первую очередь за счет зимних и весенних месяцев. Особенно теплее стал март, что видно на примере Кургана (рис. 1).

Следует отметить, что сумма летних осадков, непосредственно влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, характеризуется некоторой периодичностью значений и не имеет четкого тренда снижения или повышения, однако многолетние значения суммы осадков за вегетацию в Кургане и Челябинске и так наименьшие по сравнению с соседями. При этом среднемесячные температуры воздуха здесь в мае – августе выше на 1–2 °С (рис. 2). Это подтверждает относительно более высокую засушливость Курганской и Челябинской областей, что предусматривает особый подход к разработке агротехнологий и выбору возделываемых культур в этих регионах.

Засушливые условия и тенденции потепления определяют специализацию сельскохозяйственного производства с уклоном на засухоустойчивость культур. По сравнению с зерновыми засуху лучше переносят масличные культуры (подсолнечник и лен масличный). В Курганской области за последние 10 из 20 лет урожайность яровой пшеницы имела тенденцию к снижению, а подсолнечника – к повышению (рис. 3).

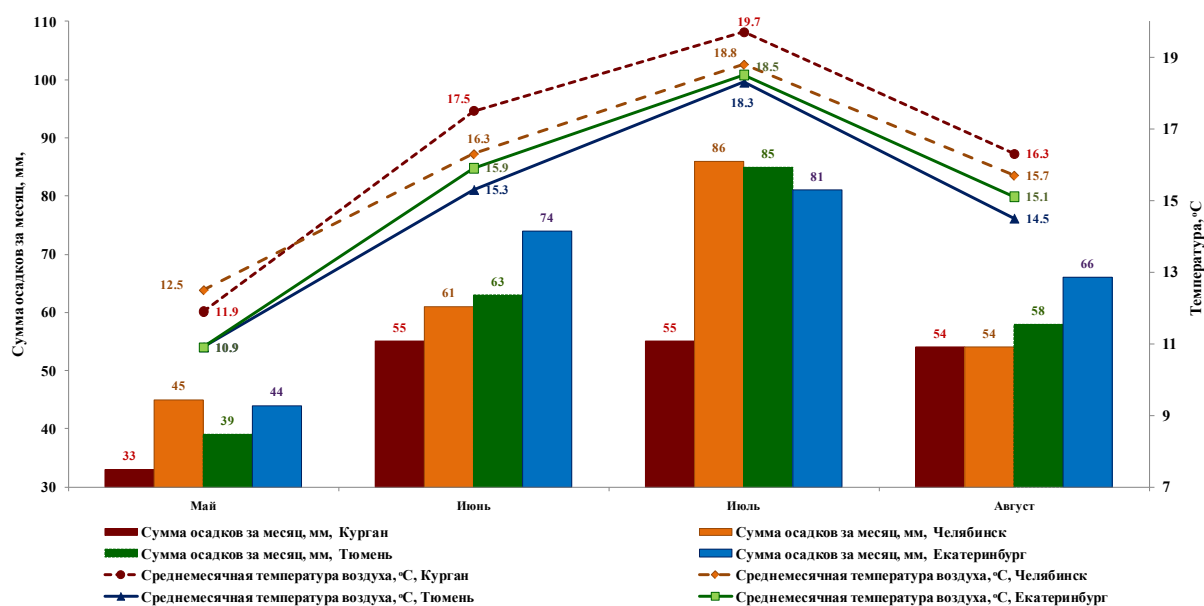


Рис. 2. Сумма осадков и температура воздуха в сельскохозяйственных центрах УрФО, 1991–2020 гг.

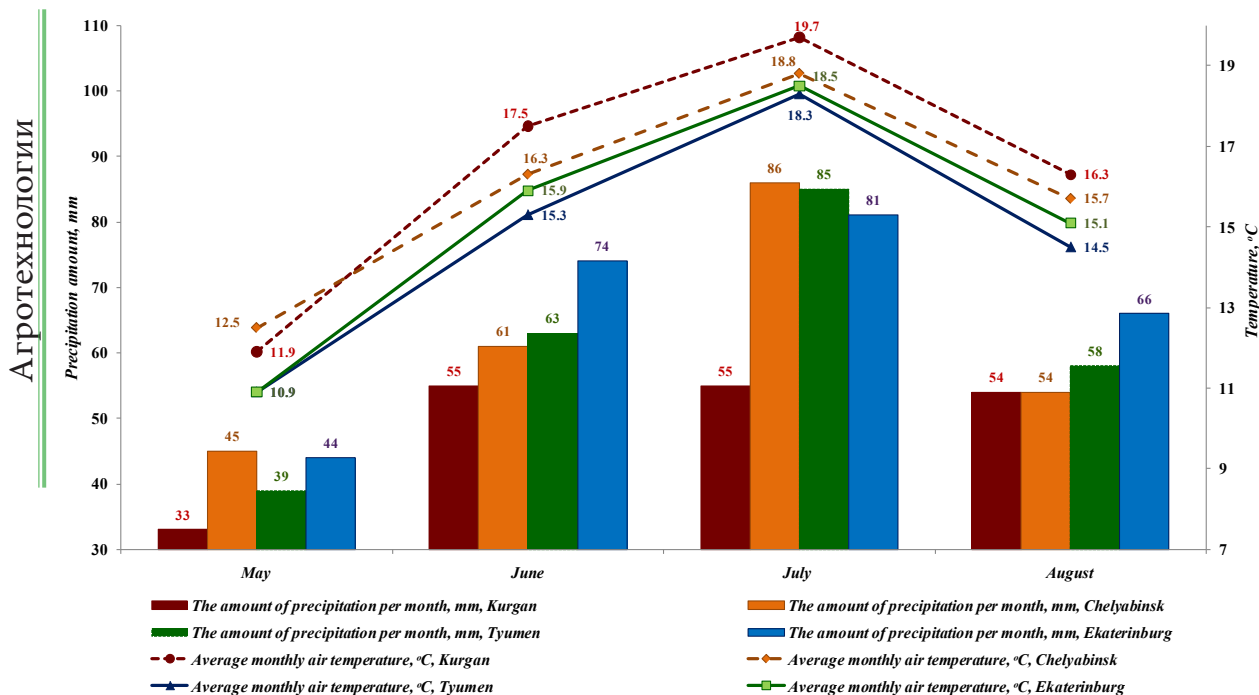


Fig. 2. Precipitation and air temperature in the agricultural centers of the Ural Federal District, 1991–2020

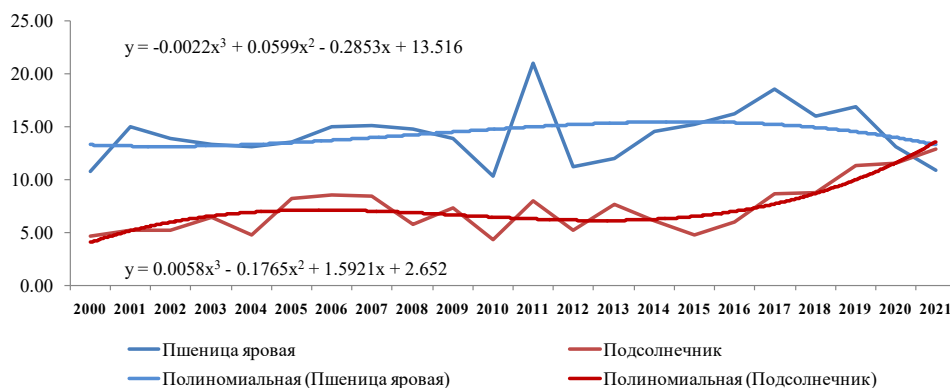


Рис. 3. Урожайность яровой пшеницы и подсолнечника в Курганской области, т/га
Источник: данные Росстата <https://showdata.gks.ru/report/275372>

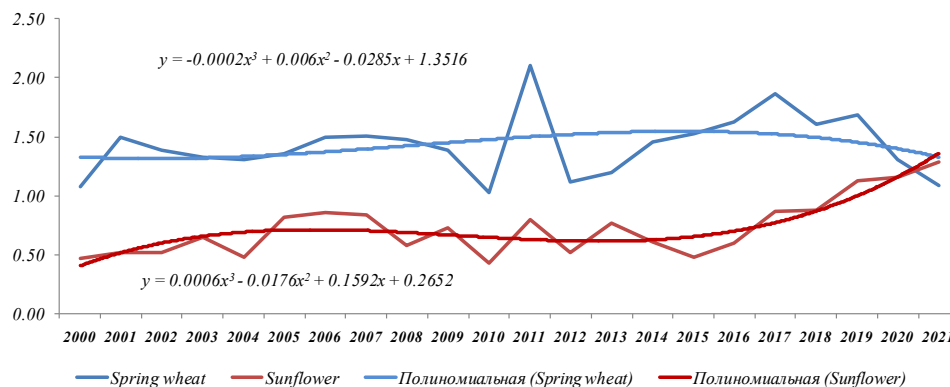


Fig. 3. Yield of spring wheat and sunflower in the Kurgan region, t/ha
Source: compiled by the authors based on the data <https://showdata.gks.ru/report/275372>

На Куртамышском госсортоучастке в годы с сильной засухой урожайность подсолнечника снижалась значительно меньше, чем по яровой пшенице. Соответственно, меньше снижалась и рентабельность его выращивания. В 2011 г., когда

гидротермический коэффициент (ГТК) за май – август достиг уровня 1,2, урожайность подсолнечника незначительно уступала урожайности яровой пшеницы – 2,5 и 2,9, но рентабельность его производства была в два раза выше, чем по пшенице:

215 % и 103 %. В 2012 г. (ГТК 0,4) урожайность подсолнечника снизилась сильнее, чем пшеницы: 1,1 и 0,7 т/га. Выращивание пшеницы стало убыточным (-38 %), а рентабельность возделывания подсолнечника снизилась, но осталась достаточно высокой – 54 %. В благоприятном по увлажнению 2019 г. (ГТК 0,8) урожайность яровой пшеницы была почти в три раза выше урожайности подсолнечника, рентабельность его выращивания была также в три раза ниже (116 % и 42 %). В 2021 г. при близкой урожайности этих культур (1,6 т/га) рентабельность по подсолнечнику была в три раза выше пшеницы (234 % и 85 %) (рис. 4).

В Северо-Казахстанской области, которая по природно-климатическим условиям схожа с Курганской областью, прогнозируется падение урожайности яровой пшеницы к 2050 г. до 52–66 % от существующих значений, в Акмолинской – до 58–77 %, а в Костанайской, которая близка по природно-климатическим условиям к Курганской и Челябинской областям, до 51–63 %. В то же время урожайность семян подсолнечника в 2030 г. ожидается повысится до 102–109 % от их современного уровня, а к 2050 г. до 100–105 % [8; 11]. Неслучайно в регионах России с остросасушливым климатом в структуре посевных площадей большой удельный вес занимает подсолнечник, например, в 2022 г. в

Оренбургской области он занимал 1247 тыс. га (28 %), в Саратовской – 1560 тыс. га (36 %). Однако такая доля подсолнечника в структуре посева является очень высокой и приводит к неблагоприятным экологическим последствиям: истощению почв, зараженности болезнями и распространенности вредителей.

Требования подсолнечника к почве определяются в первую очередь свойствами его корневой системы и потребностью в воде, пригодны почвы с глубоким пахотным слоем, хорошей проницаемостью для корней, без уплотнений и подпочвы, способные обеспечить растения в вегетационный период влагой и питательными веществами. В связи с этим подсолнечник в основном размещают на выщелоченных мощных, типичных или обыкновенных черноземах. Подсолнечник малочувствителен к реакции почвенного раствора: оптимальный для роста растений интервал pH составляет 6,0–7,0. Эта культура хуже удается на тяжелых глинистых, песчаных, кислых и сильно засоленных почвах [9]. Большая часть почв Южного Урала и Зауралья имеет выщелоченные (32,1 %) и обыкновенные черноземы (32,5 %) и соответствует условиям выращивания подсолнечника и других масличных культур [10].

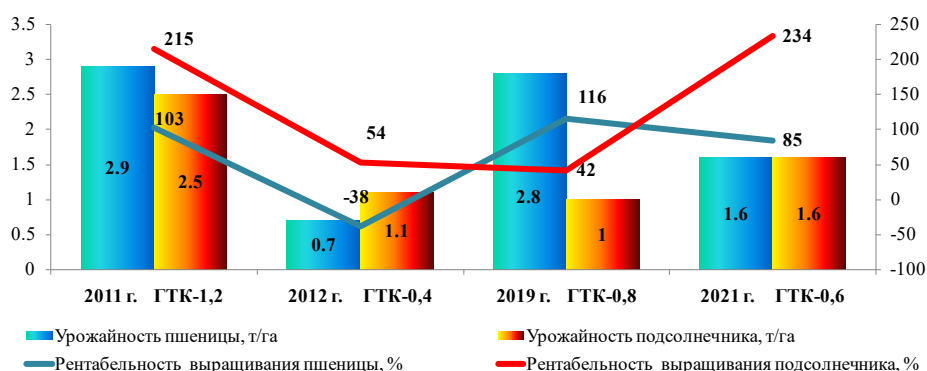


Рис. 4. Урожайность и рентабельность выращивания подсолнечника и яровой пшеницы по данным Куртамышского ГСУ Курганской области. Источник: составлено авторами на основе данных сортоиспытания сельскохозяйственных культур Госсортокмиссией

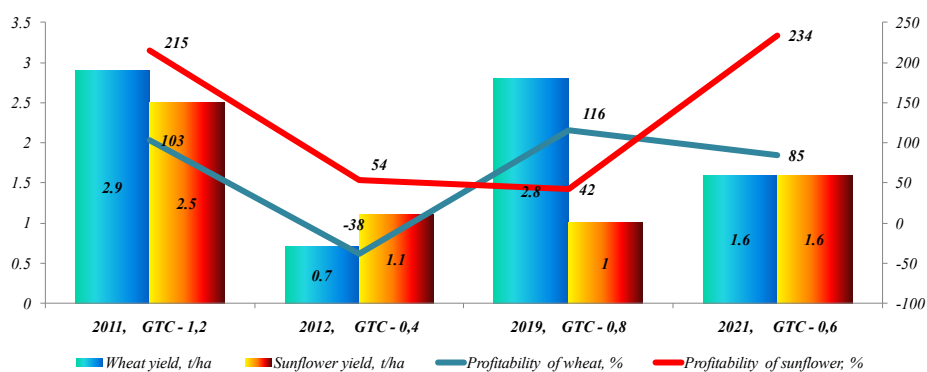


Fig. 4. Yield and profitability of sunflower and spring wheat cultivation according to the Kurtamysh State Export site. Source: compiled by the authors on the basis of data from the variety testing of agricultural crops by the State Export Commission

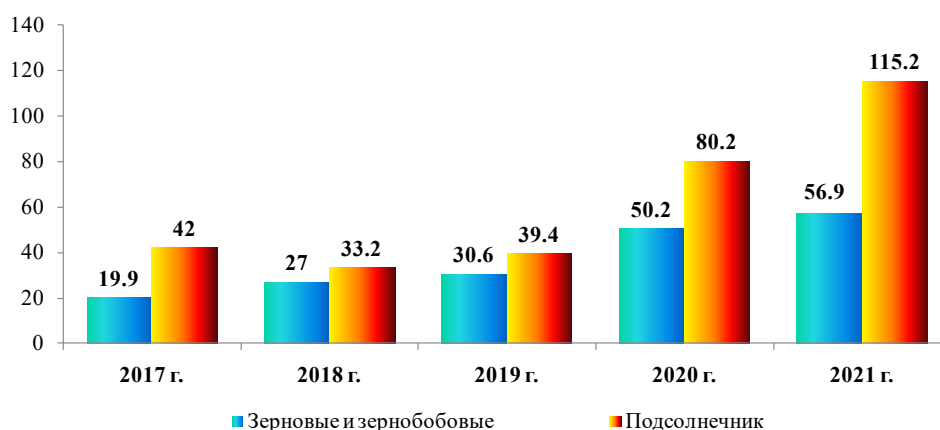


Рис. 5. Уровень рентабельности от реализации продукции подсолнечника и зерновых культур в Российской Федерации, %
 Источник: составлено авторами на основе данных [12]

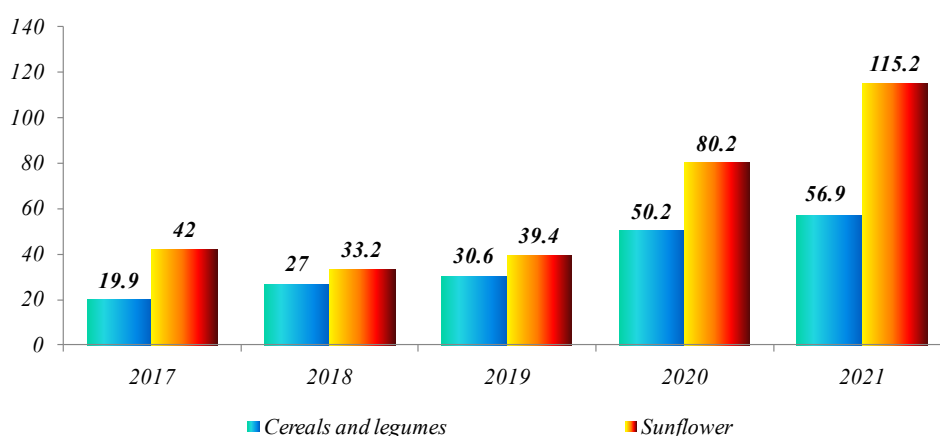


Fig. 5. The level of profitability from the sale of sunflower and grain products in the Russian Federation, %
 Source: compiled by the authors based on data [12]

Учитывая тенденцию снижения урожайности зерновых культур и повышения урожайности подсолнечника, следует расширять его посевы, не превышая агротехнические требования: возвращать его на поле не ранее восьми лет. Это означает, что в посевах подсолнечник может уверенно занимать не менее 12 %.

В годы засухи провалы урожайности зерновых культур снижают экономическую устойчивость растениеводства. Подсолнечник же, напротив, стабилизирует урожай и доходы предприятий. В целом масличные культуры, как правило, имеют более высокие цены и рентабельность. В Российской Федерации в период с 2017 по 2021 гг. рентабельность от реализации подсолнечника постоянно превышала рентабельность от реализации зерновых культур (рис. 5) [12].

В Курганской и Челябинской областях рентабельность выращивания масличных культур, как правило, выше, чем пшеницы, особенно в засушливые годы (2020 и 2021). При этом в Курганской области наибольшая рентабельность складывалась по льну, а в Челябинской – по подсолнечнику (рис. 6).

Данные группировки зависимости экономической эффективности растениеводства (без кормопроизводства) от доли масличных культур в структуре посевных площадей в 2021 г. сельскохозяйственных предприятий Курганской и Челябинской областей подтверждают, что экономическая эффективность выше в тех группах хозяйств, где присутствуют масличные культуры. В сельхозпредприятиях Курганской области урожайность зерновых культур при наличии масличных в структуре посевов (25 %) в два раза выше (0,75 и 0,14 т/га), вместо убытка (–3058 руб./га) получена прибыль 5330 руб/га, рентабельность соответственно –21 % и +31 %. В сельхозпредприятиях Челябинской области разница в эффективности была не столь контрастной. Тем не менее урожайность зерновых при наличии масличных также была выше: 0,83 т/га при их доле 14 %; 0,87 т/га при 42 % (0,75 т/га без масличных), прибыль при посеве масличных получена почти в два раза выше: 6643–6846 вместо 3924 руб/га (таблица 1).

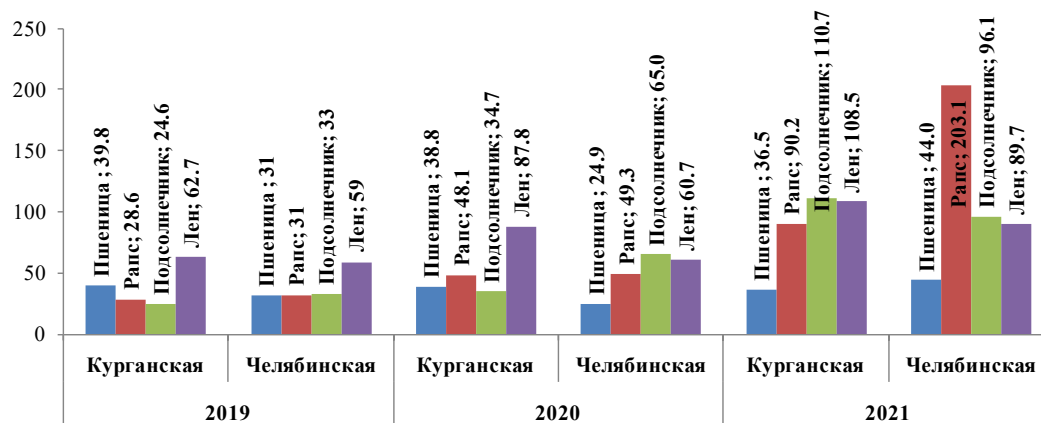


Рис. 6. Рентабельность производства пшеницы и масличных культур в Курганской и Челябинской областях, %
Источник: составлено авторами на основе отчетов сельскохозяйственных предприятий Курганской и Челябинской областей

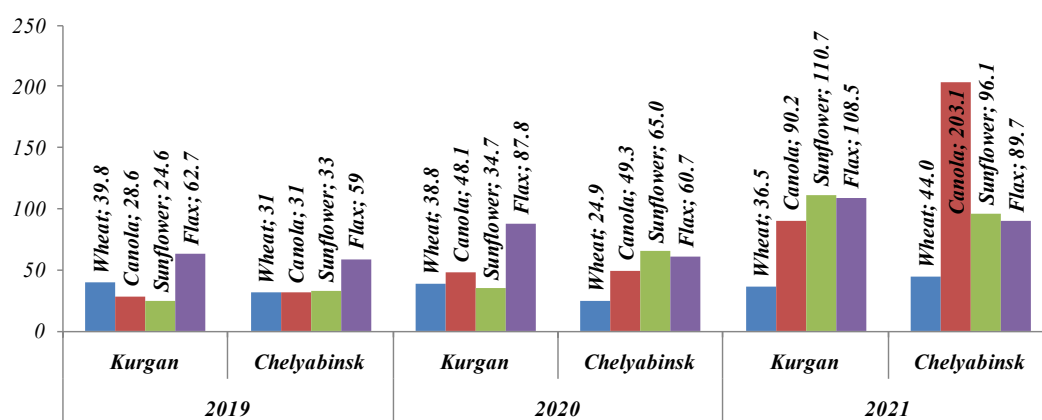


Fig. 6. Profitability of wheat and oilseeds production in Kurgan and Chelyabinsk regions, %
Source: compiled by the authors on the basis of reports of agricultural enterprises of Kurgan and Chelyabinsk regions

Таблица 1
Экономическая эффективность растениеводства в Курганской и Челябинской областях
в зависимости от доли масличных культур в структуре посевов

Количество хозяйств	Площадь зерновых и масличных, га	Доля масличных, %	Урожайность, т/га		Затраты, руб/га			Стоимость, руб/га			Прибыль, руб/га	Рентабельность, %
			Зерновых	Масличных	Зерновых	Масличных	Всего	Зерновых	Масличных	Всего		
Курганская область												
67	3 132	0	0,75	0	14 541	0	14 541	11 483	0	11 483	-3 058	-21
73	4 979	25	1,41	0,55	17 243	17 403	17 360	21 655	25 729	22 690	5 330	31
Цена, руб/т								15310	46780			
Челябинская область												
91	1 796	0	0,75	0	9 866	0	9 866	13 789	0	13 789	3 924	40
58	6 004	14	0,83	0,55	9 307	9 525	9 338	15 222	22 088	16 183	6 846	73
58	6 081	42	0,87	0,56	12 482	11 723	12 163	15 963	22 731	18 806	6 643	55
Цена, руб/т								18290	40440			

Источник: расчет выполнен авторами по данным годовых отчетов сельскохозяйственных предприятий Курганской и Челябинской областей.

Table 1

Economic efficiency of crop production in Kurgan and Chelyabinsk regions depending on the share of oilseeds in the structure of crops

Агротехнологии

Number of farms	Area of grain and oilseeds, ha	Share of oilseeds, %	Yield, c/ha		Expenses, rub/ha			Cost, rub/ha			Profit, rub/ha	Profitability, %
			Grain	Oilseeds	Grain	Oilseeds	In total	Grain	Oilseeds	In total		
Kurgan region												
67	3 132	0	0.75	0	14 541	0	14 541	11 483	0	11 483	-3 058	-21
73	4 979	25	1.41	0.55	17 243	17403	17 360	21 655	25 729	22 690	5 330	31
Price, rub/t								15 310	46 780			
Chelyabinsk region												
91	1 796	0	0.75	0	9 866	0	9 866	13 789	0	13 789	3 924	40
58	6 004	14	0.83	0.55	9 307	9 525	9 338	15 222	22 088	16 183	6 846	73
58	6 081	42	0.87	0.56	12 482	11 723	12 163	15 963	22 731	18 806	6 643	55
Price, rub/t								18 290	40 440			

Source: the calculation was made by the authors according to the annual reports of agricultural enterprises of the Kurgan and Chelyabinsk regions.

Несмотря на высокий потенциал интенсификации в производстве масличных культур, при высоком уровне затрат также наблюдается снижение экономической эффективности использования ресурсов. Однако в засушливые годы (2020 и 2021), вероятность которых в зоне Южного Урала доходит до 47 %, по подсолнечнику снижение эффективности происходит медленнее, чем по пшенице. Группировка сельхозпредприятий по уровню затрат на 1 га посева подсолнечника свидетельствует, что в 2020 г. двукратный рост затрат с 5511 до 11 722 руб/га позволил повысить урожайность в 2,7 раза и прибыль почти в 3 раза. Дальнейший рост затрат был не оправдан, урожайность не изменилась, а экономические показатели упали. В 2021 г. затраты 11 722 руб/га были недостаточны для роста урожайности и не дали прибавку экономического эффекта. Дальнейший рост затрат до 23 804 руб/га дал существенный рост урожайности (с 0,66 до 1,19 т/га) и прибыли (с 15 115 до 18 965 руб/га), но при этом произошло снижение рентабельности со 129 до 80 % (таблица 2).

Высокая доходность выращивания масличных культур стала основным фактором расширения площади посева. В период с 2020 по 2021 г. площадь подсолнечника в Российской Федерации возросла на 17 %, сои – на 21 %, рапса – на 57 %, льна масличного – в два раза (рис. 7). В Уральском федеральном округе площади посевов масличных культур росли быстрее, чем в Российской Федерации: в Курганской области за тот же период посевы масличных увеличились в 2,2 раза и составили 251 тыс. га, в Свердловской – на 77 % (39 тыс. га), в

Тюменской – на 59 % (35 тыс. га), в Челябинской – на 84 % (362 тыс. га) (рис. 7). В Курганской и Челябинской областях доля масличных в структуре посевов впервые в истории достигла 18 %. В связи с высокой долей кормовых культур в Свердловской и Тюменской областях (52 % и 28 % соответственно) и менее благоприятными условиями для подсолнечника и льна масличного посевы представлены рапсом и занимают небольшую долю – 5,0 и 3,4 % (рис. 8).

Масличные и зерновые культуры имеют различные агроэкологические требования к условиям выращивания, в том числе к длине вегетационного периода. Более того, разные культуры среди масличных и зерновых также различаются по агроэкологическим требованиям [13]. Сочетание в структуре посевов масличных и зерновых позволяет правильно распределять работы по вегетационному периоду и за счет этого снижать потребность в технике и амортизацию в затратах.

Опыт сельхозпредприятий Курганской области показывает, что урожайность зерновых культур, убранных в августе, на 6 ц выше, чем в сентябре, а урожайность масличных, убранных в сентябре, на 0,24 ц с 1 га выше, чем в октябре [14]. За счет сокращения посевов зерновых культур и увеличения доли масличных появляется возможность выполнять технологические операции в более благоприятных условиях, уборку зерновых проводить в августе – первой половине сентября, а масличных – в сентябре – начале октября. В результате повышается урожайность зерновых и масличных культур, на 5–7 тыс. руб. с 1 га растет стоимость продукции.

Экономическая эффективность выращивания подсолнечника в сельскохозяйственных предприятиях Челябинской области

Группа	Количество предприятий	Затраты, руб/га	Урожайность, т/га	Себестоимость, руб/т	Прибыль, руб/га	Рентабельность, %
2019 г.						
1	16	4 768	6,2	7 650	4 911	103
2	16	9 249	8,2	11 250	3 521	38
3	15	14 099	10,8	13 060	2 662	19
Средневзвешенное	47	10 126	8,8	11 510	3 537	35
2020 г.						
1	15	5 511	4,4	12 600	4 090	74
2	15	12 773	11,1	11 550	13 660	107
3	15	23 667	11,9	19 830	6 110	26
Средневзвешенное	45	14 479	9,2	15 680	7 822	54
2021 г.						
1	20	5 727	5,3	10 760	9 536	167
2	20	11 722	6,6	17 880	15 115	129
3	20	23 804	11,9	20 080	18 965	80
Средневзвешенное	60	13 958	8,1	17 300	14 812	106

Источник: составлено авторами на основе отчетов сельскохозяйственных предприятий Челябинской области.

Table 2

Economic efficiency of sunflower cultivation in agricultural enterprises of the Chelyabinsk region

Group	Number of enterprises	Costs, rub/ha	Yield, c/ha	Cost price, rub/c	Profit, rub/ha	Profitability, %
2019						
1	16	4 768	6.2	7 650	4 911	103
2	16	9 249	8.2	11 250	3 521	38
3	15	14 099	10.8	13 060	2 662	19
On average	47	10 126	8.8	11 510	3 537	35
2020						
1	15	5 511	4.4	12 600	4 090	74
2	15	12 773	11.1	11 550	13 660	107
3	15	23 667	11.9	19 830	6 110	26
On average	45	14 479	9.2	15 680	7 822	54
2021						
1	20	5 727	5.3	10 760	9 536	167
2	20	11 722	6.6	17 880	15 115	129
3	20	23 804	11.9	20 080	18 965	80
On average	60	13 958	8.1	17 300	14 812	106

Source: compiled by the authors on the basis of reports of agricultural enterprises of the Chelyabinsk region.

При увеличении материально-денежных затрат на единицу площади посева вследствие опережающего роста цен на промышленные средства производства по отношению к ценам на продукцию сельского хозяйства, а также в связи с природно-климатическими ограничениями рост затрат ведет к снижению экономической эффективности растениеводства [15]. В этих условиях масличные культуры имеют высокий потенциал интенсификации,

возможность получения более высокой прибыли от увеличения затрат на единицу площади посева. В связи с этим обстоятельством для повышения урожайности за счет увеличения затрат без снижения экономической эффективности следует более точно использовать ресурсы в соответствии с почвенными и агрохимическими условиями полей.

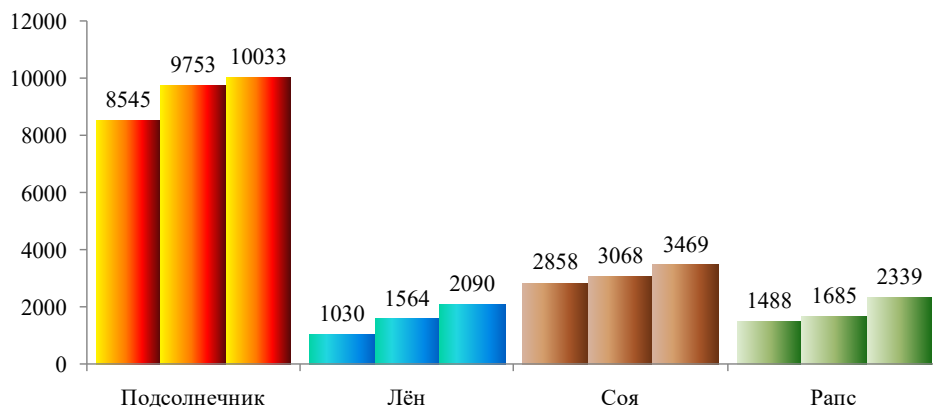


Рис. 7. Посевные площади масличных культур в Российской Федерации в 2022 г., тыс. га
Источник: составлено авторами на основе <https://showdata.gks.ru/report/279136>

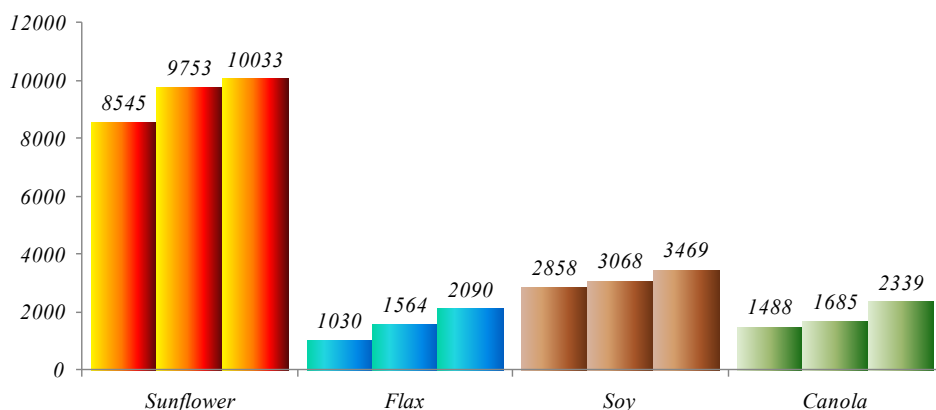


Fig. 7. Acreage of oilseeds in the Russian Federation in 2022, thousand hectares
Source: compiled by the authors based on the data <https://showdata.gks.ru/report/279136>

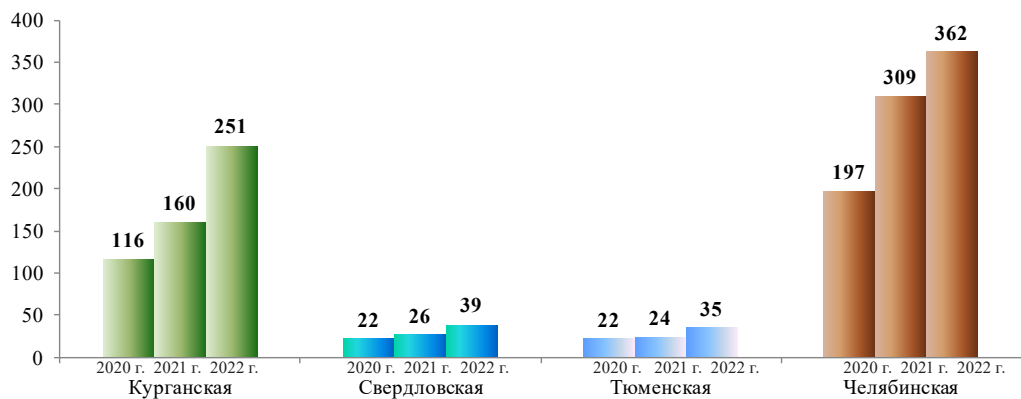


Рис. 8. Посевные площади масличных культур в Уральском федеральном округе, тыс. га
Источник: составлено авторами на основе <https://showdata.gks.ru/report/279136>

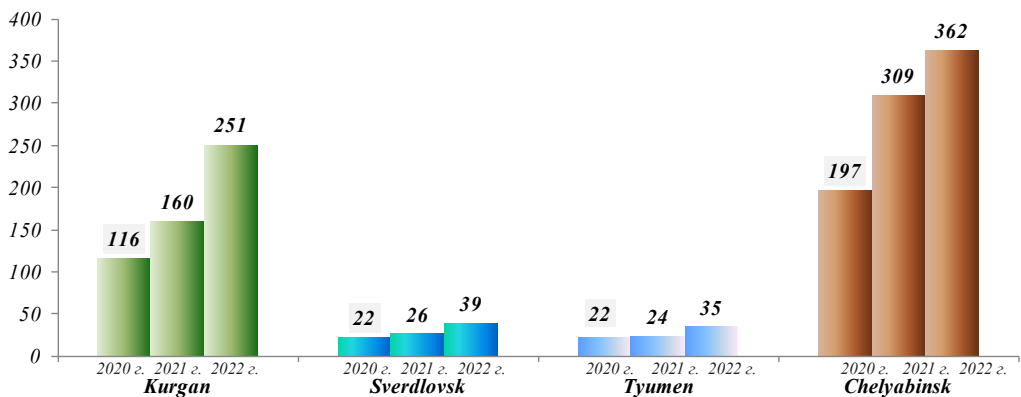


Fig. 8. Acreage of oilseeds in the Ural Federal District, thousand hectares
Source: compiled by the authors based on the data <https://showdata.gks.ru/report/279136>

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Экономическая устойчивость растениеводства в условиях изменения климата (а для условий Южного Урала это увеличение числа и продолжительность засух) определяется не только увеличением посевов масличных культур, главным образом подсолнечника, но и другими факторами. Кроме масличных, на повышение устойчивости растениеводства влияют рост посевов засухоустойчивых сортов зерновых культур, расширение доли зернобобовых и озимых, применение влагосберегающих технологий, увеличение объемов переработки растениеводческой продукции. В этом ряду масличные имеют первостепенное значение: они наиболее эффективно используют почвенную влагу, по ним разработаны и применяются интенсивные технологии, на них существует высокий спрос [16; 17].

Территория Южного Урала относится к наиболее засушливым регионам России. При этом, по прогнозам специалистов, частота и продолжительность засух увеличится, в результате урожайность зерновых культур может снизиться к 2030 г. на 26 %, а к 2050 г. – на 38 %. Масличные культуры, прежде всего подсолнечник, лучше переносят засуху, эффективно используют почвенную влагу и тем самым стабилизируют производство и экономическую устойчивость растениеводства. Высо-

кие цены на продукцию масличных способствуют расширению посевных площадей, стабилизируют доходы предприятий. В сочетании с более высоким уровнем технологий выращивания масличные позволяют равномернее распределить работы, полнее использовать технические и трудовые ресурсы, снизить потребность в технике и амортизацию в затратах. Масличные культуры имеют более высокий потенциал интенсификации: при одинаковом уровне затрат с зерновыми эффективность их использования выше.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены в Курганском НИИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в лаборатории экономики и инновационного развития 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».

Библиографический список

1. 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.
2. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1130–1139. DOI: 10.1134/s0032180x19070062.
3. Жминько А. Е., Салахьянц В. В., Ибрагимов И. А., Молчанова А. С. Статистический анализ факторов, влияющих на урожайность зерновых и зернобобовых культур // *Финансовый бизнес*. 2022. № 11 (233). С. 30–33.
4. Поварницына А. В., Савин М. И. Влияние изменения климата на мировое сельское хозяйство // *Тенденции развития науки и образования*. 2022. № 84-1. С. 152–157. DOI: 10.18411/trnio-04-2022-39.
5. Сафронов Г. В. Климатические риски и потенциал углеродных проектов в сельском хозяйстве // *Ресурсосберегающее земледелие*. 2021. № 3. С. 10–12.
6. Страшная А. И., Бирман Б. А., Береза О. В. Особенности засухи 2012 г. на Урале и в Западной Сибири и ее влияния на урожайность яровых зерновых культур // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2018. № 2 (368). С. 154–169.
7. Посевные площади сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. URL: <https://showdata.gks.ru/report/279136> (дата обращения: 25.11.2022).
8. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): национальный доклад / Р. С. Х. Эдельгериев, А. Л. Иванов, И. М. Донник [и др.]. Москва: МБА, 2021. 700 с. DOI: 10.52479/978-5--6045103-9-1.
9. Идиатуллово К. Б., Тойгильдин А. Л. Подсолнечник: практические рекомендации по возделыванию в условиях Ульяновской области. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2017. 48 с.
10. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / О. В. Волынкина [и др.] ; под ред. О. В. Волынкиной. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 284 с.
11. Байшоланов С. С., Павлова В. Н., Клещенко А. Д. [и др.] Оценка агроклиматических ресурсов Костанайской области Республики Казахстан // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 3. С. 82–91.

12. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2021 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/60d/60d8f2347d3eb724ab9b57c61a9ac269.pdf> (дата обращения: 25.11.2022).
13. Кирюшин В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. 2021. № 2. С. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10201.
14. Степных Н. В., Нестерова Е. В. Оптимизация сроков полевых работ – важный резерв повышения эффективности растениеводства // Нивы России. 2021. № 3 (191). С. 64–68.
15. 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.
16. Дудник А. В., Чердакова Т. А. Инвестиционные стратегии повышения конкурентоспособности агропродовольственной системы страны // Экономика региона. 2021. Т. 17. № 2. С. 632–643. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-2-20.
17. Кондратенко Е., Соболева О., Вербицкая Н. [и др.] Роль зернобобовых, зерновых и масличных культур в диверсификации растениеводства // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы V Национальной научно-практической конференции. Кемерово, 2020. С. 222–226.

Об авторах:

Николай Васильевич Степных¹, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-0208-1583, AuthorID 443333; +7 (35231) 5-76-22, nickolai.stepnyh@yandex.ru
 Елена Викторовна Нестерова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, специалист по связям с общественностью, ORCID 0000-0003-0599-5054, AuthorID 698817; l.nesterova2009@yandex.ru
 Артур Меружанович Заргарян¹, научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0719-0284, AuthorID 763361; +7 (35231) 5-76-22, nietsmmarrock@yandex.ru

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

The importance of oilseeds in increasing the sustainability of crop production in the natural and climatic conditions of the Southern Urals and Trans-Urals

N. V. Stepnykh¹✉, E. V. Nesterova¹, A. M. Zargaryan¹

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 high aridity of the climate of the Southern Urals and Beyond the Urals, where the Kurgan and Chelyabinsk regions are located, forces farmers to constantly look for ways to increase the sustainability of crop production. It is easier to tolerate drought due to their biological characteristics and thereby stabilize the production of oilseeds, while the high domestic and export demand for oilseeds contribute to the fact that in Russia the acreage of sunflower, rapeseed, soybean and oilseed flax is increasing every year. Their cultivation in combination with grain allows you to distribute the organizational load during field work more evenly over time, use technical and labor resources more efficiently, reduce the need for equipment and depreciation. **The purpose** of the study is to determine the importance in increasing the economic and environmental sustainability of crop production of oilseeds, the most cost-effective for cultivation in the conditions of the Southern Urals and Trans-Urals. **The tasks** are to analyze weather conditions, the results of variety testing at state export sites and production data on the cultivation of oilseeds in the Kurgan and Chelyabinsk regions. **The methods** of monographic, mathematical, statistical analysis of data from scientific literature, open statistical sources, agronomic and economic reports of agricultural enterprises were used. **The scientific novelty** of the research consists in studying the importance of oilseeds in increasing the sustainability of crop production in connection with changes in the natural and climatic conditions of agricultural production. **The results** of the study showed that high prices for oilseeds, stabilizing the incomes of enterprises, contributed to the expansion of the acreage of oilseeds. It was revealed that with the same level of costs for the cultivation of oilseeds, material resources are used more efficiently compared to grain. It was found that

under the prevailing weather conditions and prices for oilseeds during the years of research, the economic stability of crop production among oilseeds was stabilized, first of all, by the most drought-resistant sunflower. The yield of grain crops in the Kurgan and Chelyabinsk regions over the past five, including acutely arid, years has tended to decrease, and sunflower – to increase and less fluctuations over the years.

Keywords: climate, drought, oilseeds, sustainability, prices, economic efficiency, diversification of acreage, e-book of field history.

For citation: Stepanykh N. V., Nesterova E. V., Zargaryan A. M. Znachenie maslichnykh kul'tur v povyshenii ustoychivosti rastenievodstva v prirodno-klimaticheskikh usloviyakh Yuzhnogo Urala i Zaural'ya [The importance of oilseeds in increasing the sustainability of crop production in the natural and climatic conditions of the Southern Urals and Trans-Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 57–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-57-70. (In Russian.)

Date of paper submission: 18.01.2023, **date of review:** 02.03.2023, **date of acceptance:** 13.03.2023.

References

1. Stepanykh 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.)
2. Kiryushin V. I. Upravlenie plodorodiem pochv i produktivnost'yu agrotsenozov v adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya [Management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive landscape farming systems] // Soil science. 2019. No. 9. Pp. 1130–1139. DOI: 10.1134/s0032180x19070062. (In Russian.)
3. Zhmin'ko A. E., Salakh'yants V. V., Ibragimova I. A., Molchanova A. S. Statisticheskiy analiz faktorov, vliyayushchikh na urozhaynost' zernovykh i zernobobovykh kul'tur [Statistical analysis of factors affecting the yield of grain and leguminous crops] // Financial business. 2022. № 11 (233). Pp. 30–33. (In Russian.)
4. Povarnitsyna A. V., Savin M. I. Vliyanie izmeneniya klimata na mirovye sel'skoe khozyaystvo [The impact of climate change on world agriculture // Trends in the development of science and education]. 2022. No. 84-1. Pp. 152–157. DOI: 10.18411/trnio-04-2022-39. (In Russian.)
5. Safronov G. V. Klimaticheskie riski i potentsial uglerodnykh projektov v sel'skom khozyaystve [Climate risks and the potential of carbon projects in agriculture] // Resource-saving agriculture. 2021. No. 3. Pp. 10–12. (In Russian.)
6. Strashnaya A. I., Birman B. A., Bereza O. V. Osobennosti zasukhi 2012 g. na Urale i v Zapadnoy Sibiri i ee vliyaniya na urozhaynost' yarovykh zernovykh kul'tur [Features of the 2012 drought in the Urals and Western Siberia and its impact on the yield of spring grain crops] // Hydrometeorological studies and forecasts. 2018. No. 2 (368). Pp. 154–169. (In Russian.)
7. Posevnye ploshchadi sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. [Sown areas of agricultural crops] [e-resource]. URL: <https://showdata.gks.ru/report/279136> (date of reference: 25.11.2022). (In Russian.)
8. Edel'geriev R. S. Kh., Ivanov A. L., Donnik I. M. et al. Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyaystvo): natsional'nyy doklad [Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry): national report]. Moscow : MBA, 2021. 700 p. DOI: 10.52479/978-5-6045103-9-1. (In Russian.)
9. Idiatullov K. B., Toygil'din A. L. Podsolnechnik: prakticheskie rekomendatsii po vozdeyvaniyu v usloviyakh Ul'yanovskoy oblasti [Sunflower: practical recommendations for cultivation in the conditions of the Ulyanovsk region] / K. B. Idiatullov. Ul'yanovsk: Ul'yanovsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, 2017. 48 p. (In Russian.)
10. Sistemy udobreniya v agrotekhnologiyakh Zaural'ya [Fertilizer systems in agricultural technologies of the Trans-Urals] / O. V. Volynkina et al. ; edited by O. V. Volynkina. Kurtamysh: OOO "Kurtamyshskaya tipografiya", 2017. 284 p. (In Russian.)
11. Baysholanov S. S., Pavlova V. N., Kleshchenko A. D. et al. Otsenka agroklimaticheskikh resursov Kostanayskoy oblasti Respubliki Kazakhstan [Assessment of agro-climatic resources of the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan] // Meteorology and Hydrology. 2018. No. 3. Pp. 82–91. (In Russian.)
12. Natsional'nyy doklad o khode i rezul'tatakh realizatsii v 2021 godu Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya [National report on the progress and results of the implementation in 2021 of the State Program for the Development of Agriculture and regulation of agricultural Products, raw materials and Food markets] [e-resource]. URL:

<https://mcx.gov.ru/upload/iblock/60d/60d8f2347d3eb724ab9b57c61a9ac269.pdf> (date of reference: 25.11.2022). (In Russian.)

13. Kiryushin V. I. Sostoyanie i problemy razvitiya adaptivnolandshaftnogo zemledeliya [The state and problems of development of adaptive landscape agriculture] // Agriculture. 2021. No. 2. Pp. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10201. (In Russian.)

14. Stepnykh N. V., Nesterova E. V. Optimizatsiya srokov polevykh rabot – vazhnyy rezerv povysheniya effektivnosti rasteniyevodstva [Optimization of field work terms is an important reserve for improving the efficiency of crop production] // Fields of Russia. 2021. No. 3 (191). Pp. 64–68. (In Russian.)

15. Stepnykh 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] // Agro-industrial complex: economics, management. 2020. No. 8. Pp. 46–65. DOI: 10.33305/208-46. (In Russian.)

16. Dudnik A. V., Cherdakova T. A. Investitsionnye strategii povysheniya konkurentosposobnosti agroproduktov'stvennoy sistemy strany [Investment strategies to increase the competitiveness of the country's agri-food system] // Economy of regions. 2021. Vol. 17. No. 2. Pp. 632–643. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-2-20. (In Russian.)

17. Kondratenko E., Soboleva O., Verbitskaya N. et al Rol' zernobobovykh, zernovykh i maslichnykh kul'tur v diversifikatsii rasteniyevodstva [The role of legumes, cereals and oilseeds in the diversification of crop production] // Actual scientific and technical means and agricultural problems: Materials of the V National Scientific and Practical Conference. Kemerovo, 2020. Pp. 222–226. (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

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

Artur M. Zargaryan¹, researcher, ORCID 0000-0003-0719-0284, AuthorID 763361; +7 (35231) 5-76-22, nietsmmarrock@yandex.ru

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

Метаболические изменения в организме кур-несушек при применении антибиотика и фитобиотика

Е. Н. Беспамятных¹, А. С. Кривоногова¹, А. Г. Исаева¹✉, И. М. Донник¹, А. Е. Ченцова¹

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: isaeva.05@bk.ru

Аннотация. С недавнего времени применение лекарственных экстрактов растений в животноводстве увеличилось из-за обнаружения ранее не отмеченных побочных эффектов антибиотиков, связанных в том числе с кумуляцией их токсичных метаболитов в продуктах питания, а также из-за увеличения встречаемости антибиотикорезистентности микроорганизмов. Не терапевтическое использование противомикробных препаратов также связано с распространением множественной лекарственной устойчивости, включая устойчивость к антимикробным препаратам, которые никогда не использовались в животноводстве. Давно известно, что компоненты растительных субстанций обладают способностью подавлять рост бактерий. Распространенной практикой становится применение растительных эфирных масел для повышения эффективности использования корма жвачными животными, при этом эфирные масла давно известны своими антимикробными свойствами. **Целью данной работы** была оценка метаболических эффектов применения фитобиотика и совместного использования с антибиотиком при контроле микробной нагрузки. **По полученным результатам** становится ясно, что фитобиотик наряду с антимикробными воздействиями обладает и другими положительными воздействиями, выразившимися в мембраностабилизирующих и антиоксидантных свойствах, однако имеются и некоторые негативные эффекты, связанные с затруднением переваривания и всасывания липидных нутриентов. При этом совместное использование фитобиотика с антибиотиком показало себя как оптимальное ввиду хорошего антимикробного эффекта при смягчении или устранении негативных эффектов, выявленных при раздельном использовании фитобиотика и энрофлоксацина, устранены иммуносупрессивные и депрессивные эффекты, не проявляются нарушения переваривания и всасывания жирорастворимых нутриентов. **Научная новизна.** Полученные данные позволяют расширить спектр антимикробных средств, применяемых в птицеводстве, а также позволяют использовать более гибкие схемы контроля над микробной нагрузкой на организм птиц.

Ключевые слова: фитобиотики, антибиотики, метаболические эффекты, куры-несушки, антимикробное действие.

Для цитирования: Беспамятных Е. Н., Кривоногова А. С., Исаева А. Г., Донник И. М., Ченцова А. Е. Метаболические изменения в организме кур-несушек при применении антибиотика и фитобиотика // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 71–82. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-71-82.

Дата поступления статьи: 23.08.2022, **дата рецензирования:** 01.12.2022, **дата принятия:** 13.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время осторожное использование антибиотиков и создание систем научного мониторинга в сфере животноводства являются лучшим способом ограничения неблагоприятных последствий злоупотребления ими и обеспечения безопасности продуктов питания животного происхождения [1].

Не терапевтическое использование противомикробных препаратов также связано с распространением множественной лекарственной устойчивости, включая устойчивость к антимикробным препаратам, которые никогда не использовались в животноводстве [2].

Страны, входящие в Европейский союз, запретили использование стимуляторов роста и антибактериальных препаратов в 2006 году в соответствии с Постановлением Европейского парламента и Совета ЕС № 1831/2003 [3]. Несмотря на это, были обнаружены штаммы бактерий с широкой лекарственной устойчивостью и резистентностью [4].

Для преодоления повышенного уровня смертности и заболеваемости животных ввиду запрета на добавление антибиотиков в корма сельскохозяйственным животным возникла потребность в создании возможных альтернатив антибиотикам [5].

С недавнего времени применение лекарственных экстрактов растений в животноводстве увеличилось из-за обнаружения ранее не отмеченных побочных эффектов антибиотиков, связанных, в том числе с кумуляцией их токсичных метаболитов в продуктах питания, а также из-за увеличения встречаемости антибиотикорезистентности микроорганизмов [6].

Давно известно, что компоненты растительных субстанций, обнаруженные в экстракте коры дуба, обладают способностью подавлять чувство кворума у бактерий. Биологическая активность экстрактов лекарственных растений определяется совместным эффектом находящихся в них малых молекул, оказывающих суммарное воздействие на систему «кворум-сенсинг» патогенных микроорганизмов [7].

Общей чертой фитобиотиков является то, что они представляют собой очень сложную смесь биологически активных компонентов. Состав фитобиотиков может варьироваться в зависимости от биологических факторов, способов получения и условий хранения полученных веществ, и только при определенных обстоятельствах экстракты растений могут улучшить продуктивность животных и контролировать болезни [8].

Помимо различных растительных продуктов, широко распространенной практикой становится использование растительных эфирных масел для повышения эффективности использования корма жвачными животными, при этом эфирные масла давно известны своими антимикробными свойствами [9]. На сегодняшний день точный механизм действия таких противомикробных препаратов еще недостаточно изучен [10].

Некоторые наблюдения *in vivo* подтверждают предположение, что общий антимикробный потенциал эфирных масел способствует окончательному снижению давления кишечных патогенов [11]. Сообщается о влиянии фитогенных кормовых добавок на продуктивность сельскохозяйственной птицы [12].

Обнаружено, что диетические добавки из черного тмина, чеснока и куркумы не только влияют на яйценоскость и качество яиц, но и помогают снизить уровень холестерина и триглицеридов яичного желтка в течение первой фазы периода яйцекладки [13]. Растительные кормовые добавки (черный тмин, чеснок и куркума) в сочетании с льняным маслом положительно влияют на яйценоскость, потребление корма и массу яйца [14].

Установлено, что включение сухой мяты перечной в рацион цыплят-бройлеров улучшает прирост живой массы и увеличивает коэффициент конверсии корма [15]. Добавление в рацион бройлеров *Tinospora cordifolia* положительно влияет на весовой рост, показатели качества и сроки хранения мяса [16].

Исходя из вышесказанного становятся все более актуальными поиск и оценка эффективности

различных фитобиотиков как в моно-, так и в комплексном применении при снижении и контроле микробной нагрузки.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили на курах-несушках Ломан-классик 400-дневного возраста. По принципу аналогов были подобраны 4 группы несушек по 120 голов в каждой; условия содержания, рацион (ПК-1-2) и режим поения во всех группах были одинаковыми и соответствовали регламентированному для кросса и возраста птицы. Эксперимент начали после адаптационного периода. Опытным группам вводили в рацион следующие добавки: антибиотик фторхинолонового ряда и фитобиотический препарат на основе биологически активных растительных метаболитов. Антибиотик – энрофлоксацин («Энрофлон» 10-процентный раствор производства ООО «НПФ ВИК»), режим дозирования – 0,5 мл/л воды для поения в течение 7 дней. Фитобиотический препарат представлял собой сухую основу (70 % масс.) из жмыха облепихи и измельченной травы клевера лугового в соотношении 85 % и 15 % масс., пропитанную масляным компонентом, состоящим из смеси масел – горчичного (60 %), облепихи (30 %) и кедра (10 %). Готовый фитобиотический препарат добавляли в рацион несушкам из расчета 10 г/голову в сутки в течение 14 дней. В ходе эксперимента несушкам группы № 1 вводили в рацион только энрофлоксацин, несушкам группы № 2 – энрофлоксацин и фитобиотический препарат, несушкам группы № 3 – только фитобиотик. Группа № 4 – контрольная – добавок в рацион не получала.

Отбор проб крови для биохимических и иммуногематологических исследований во всех группах проводили на 1 сутки до начала введения добавок в рацион, затем повторно – на 14-е сутки эксперимента, после завершения кормления с добавками. Кровь у птицы брали в утренние часы из подкожной подкрыльцовой вены.

Биохимический анализ плазмы крови птиц проводили на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе», США, серийный номер 2910-3807) реагентами фирм HUMAN, DIALAB и АО «Витал Девелопмент Корпорэйшн» г. Санкт-Петербург, по методикам, рекомендованным Международной Федерацией Клинической Химии (МФКХ).

Математическую обработку результатов исследования проводили с помощью программного комплекса Statistica 10,0 (64 бит), параметрическими и непараметрическими методами анализа с определением достоверности различий для зависимых выборок. Перед выбором методов анализа проводили оценку выборок на нормальность распределения при помощи критерия Шапиро – Уилка. При Гауссовском распределении применяли *T*-критерий Стьюдента, при не нормальном – *W*-критерий Вилкоксона.

Изменения биохимических показателей крови птиц группы № 4

Контрольная	АлТ, Ед/л	Альбумин, г/л	АСТ, Ед/л	Глюкоза, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л	Общий белок, г/л	Общий билирубин, мкмоль/л	Щелочная фосфатаза, Ед/л	α-амилаза, Ед/л	γ-ГТ, Ед/л	ГЛДГ, Ед/л	Железо, мкмоль/л
Группа № 4-0 (X)	7,0	17,8	226,0	10,4	34,4	57,2	1,1	543,2	395,9	18,6	271,8	14,4
Группа № 4-0 (SD)	6,2	1,5	41,0	0,5	9,3	4,8	2,7	233,4	175,7	6,8	264,4	3,5
Группа № 4-1 (X)	11,2	18,1	224,0	11,6	29,9	68,5	2,6	273,8	238,4	1,4	252,6	21,1
Группа № 4-1 (SD)	3,1	0,8	30,6	1,3	14,3	2,8	2,5	64,2	76,9	2,7	133,5	3,0
№ 4-1 / № 4-0, %	59,5	1,9	-0,9	11,4	-12,9	19,7	135,4	-49,6	-39,8	-92,7	-7,1	46,0
<i>p</i>	0,22	0,69	0,92	0,07	0,60	0,03	0,27	0,03	0,12	0,03	0,92	0,03
Контрольная	КФК-Нас, ед/л	Калий, ммоль/л	Кальций, ммоль/л	Мочевая кислота, ммоль/л	ЛДГ, ед/л	Магний, ммоль/л	Триглицериды, ммоль/л	Фосфор, ммоль/л	Хлориды, ммоль/л	Холестерин, ммоль/л	Холинэстераза, ед/л	Глобулины, г/л
Группа № 4-0 (X)	762,5	7,2	5,7	455,2	239,4	1,3	9,3	2,8	135,7	3,2	2502,1	39,4
Группа № 4-0 (SD)	572,7	2,2	1,3	121,4	73,3	0,2	5,9	0,3	11,0	1,2	577,8	3,5
Группа № 4-1 (X)	797,9	7,7	7,0	465,2	192,9	1,8	12,0	2,7	122,2	2,8	2632,6	50,3
Группа № 4-1 (SD)	454,7	3,1	0,8	58,1	29,6	0,5	7,0	1,4	19,0	1,3	729,6	2,7
№ 4-1 / № 4-0, %	4,6	6,5	22,9	2,2	-19,4	41,0	29,6	-2,4	-9,9	-11,1	5,2	27,8
<i>p</i>	0,75	0,75	0,17	0,46	0,22	0,04	0,46	0,50	0,12	0,60	0,75	0,03

Примечание. Группа № 4-0 – начало опыта, группа № 4-1 – конец опыта.

Table 1
Changes in biochemical blood parameters of birds of group No. 4

Control group	ALT, u/L	Alb, g/l	AST, u/L	Glucose (Glu), mmol/l	Creatinine (Crea), μmol/l	Total Protein (TP), g/l	Total Bilirubin (TB), μmol/l	Alkaline Phosphatase (ALP), u/L	α-amylase, u/L	Gamma-glutamyltransferase (γ-GT), u/L	Glutamate dehydrogenase (GLDH), u/L	Iron, μmol/l
Group No. 4-0 (X)	7.0	17.8	226.0	10.4	34.4	57.2	1.1	543.2	395.9	18.6	271.8	14.4
Group No. 4-0 (SD)	6.2	1.5	41.0	0.5	9.3	4.8	2.7	233.4	175.7	6.8	264.4	3.5
Group No. 4-1 (X)	11.2	18.1	224.0	11.6	29.9	68.5	2.6	273.8	238.4	1.4	252.6	21.1
Group No. 4-1 (SD)	3.1	0.8	30.6	1.3	14.3	2.8	2.5	64.2	76.9	2.7	133.5	3.0
No. 4-1 / No. 4-0, %	59.5	1.9	-0.9	11.4	-12.9	19.7	135.4	-49.6	-39.8	-92.7	-7.1	46.0
<i>p</i>	0.22	0.69	0.92	0.07	0.60	0.03	0.27	0.03	0.12	0.03	0.92	0.03
Control group	CK-Nac, U/L	Potassium, mmol/l	Ca, mmol/l	UA, μmol/l	LDH, U/L	Mg, mmol/l	Triglycerides, mmol/l	Phosphorus, mmol/l	Chloride, mmol/l	Cholesterol, mmol/l	Cholinesterase, U/L	Globulin, g/l
Group No. 4-0 (X)	762.5	7.2	5.7	455.2	239.4	1.3	9.3	2.8	135.7	3.2	2502.1	39.4
Group No. 4-0 (SD)	572.7	2.2	1.3	121.4	73.3	0.2	5.9	0.3	11.0	1.2	577.8	3.5
Group No. 4-1 (X)	797.9	7.7	7.0	465.2	192.9	1.8	12.0	2.7	122.2	2.8	2632.6	50.3
Group No. 4-1 (SD)	454.7	3.1	0.8	58.1	29.6	0.5	7.0	1.4	19.0	1.3	729.6	2.7
No. 4-1 / #4-0, %	4.6	6.5	22.9	2.2	-19.4	41.0	29.6	-2.4	-9.9	-11.1	5.2	27.8
<i>p</i>	0.75	0.75	0.17	0.46	0.22	0.04	0.46	0.50	0.12	0.60	0.75	0.03

Note. Group No. 4-0 is the beginning of the experience, group No. 4-1 is the end of experience.

Результаты (Results)

У контрольной группы за период эксперимента были отмечены следующие достоверные изменения биохимических показателей плазмы крови: увеличение содержания общего белка на 19,7 %, уровня общего железа на 46 %, магния – на 41 %, глобулинов – на 27,8 %, а также снижение активности щелочной фосфатазы на 49,6 % и γ-ГТ на 92,7 % (таб-

лица 1). Большинство этих изменений, вероятнее всего, связано с физиологическими изменениями в организме курец интактной группы. Однако увеличение содержания общего белка, обусловленное увеличением количества глобулинов, указывает на наличие высокой антигенной нагрузки, вызванной условно-патогенной микрофлорой.

Таблица 2

Изменения биохимических показателей крови птиц группы № 1

Группа № 1	АлТ, ед/л	Альбумин, г/л	АсТ, ед/л	Глюкоза, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л	Общий Белок, г/л	Общий билирубин, мкмоль/л	Щелочная фосфатаза, ед/л	α-Амилаза, ед/л	γ-ГТ, ед/л	ГлДГ, ед/л	Железо, мкмоль/л
Группа № 1-0 (X)	6,2	17,4	228,7	12,6	18,8	64,7	1,5	969,5	277,8	44,1	322,0	19,2
Группа № 1-0 (SD)	4,6	2,5	26,8	0,6	12,7	2,9	1,8	713,2	59,3	45,1	132,5	3,8
Группа № 1-1 (X)	9,8	17,6	204,7	11,7	26,3	57,5	1,5	327,2	213,1	3,3	269,5	19,2
Группа № 1-1 (SD)	7,0	1,0	21,7	0,9	11,0	2,3	2,6	147,4	20,5	5,0	56,7	1,6
№ 1-1 / № 1-0, %	59,5	0,9	-10,5	-7,5	39,7	-11,1	-1,1	-66,3	-23,3	-92,6	-16,3	-0,4
<i>p</i>	0,42	0,75	0,07	0,07	0,35	0,03	0,65	0,12	0,07	0,03	0,35	0,75
Группа № 1	КФК-Нас, ед/л	Калий, ммоль/л	Кальций, ммоль/л	Мочевая кислота, мкмоль/л	ЛДГ, ед/л	Магний, ммоль/л	Триглицериды, ммоль/л	Фосфор, ммоль/л	Хлориды, ммоль/л	Холестерин, ммоль/л	Холинэстераза, ед/л	Глобулины, г/л
Группа № 1-0 (X)	1006,0	8,2	6,2	369,3	332,2	2,1	12,2	2,7	129,2	3,0	2234,7	47,3
Группа № 1-0 (SD)	1250,0	2,7	1,6	159,3	124,8	0,6	6,3	1,0	11,4	1,1	380,5	3,4
Группа № 1-1 (X)	543,9	8,2	6,9	475,6	204,0	1,7	13,4	2,4	123,4	3,4	1992,8	40,0
Группа № 1-1 (SD)	202,6	3,8	0,8	87,5	58,1	0,7	4,4	0,5	2,2	0,9	368,1	2,3
№ 1-1 / № 1-0, %	-45,9	-0,4	11,9	28,8	-38,6	-20,6	9,3	-9,4	-4,5	13,6	-10,8	-15,5
<i>p</i>	0,92	0,92	0,09	0,25	0,05	0,14	0,46	0,75	0,25	0,25	0,35	0,03

Примечание. Группа № 1-0 – начало опыта, группа № 1-1 – конец опыта.

Table 2

Changes in biochemical blood parameters of birds of group No. 1

Antibiotic	ALT, u/L	Alb, g/l	AST, u/l	Glu, mmol/l	Crea, μmol/l	TP, g/l	TB, μmol/l	ALP, u/l	α-Amylase, u/l	γ-GT, u/l	GLDH, u/l	Iron, μmol/l
Group No. 1-0 (X)	6.2	17.4	228.7	12.6	18.8	64.7	1.5	969.5	277.8	44.1	322.0	19.2
Group No. 1-0 (SD)	4.6	2.5	26.8	0.6	12.7	2.9	1.8	713.2	59.3	45.1	132.5	3.8
Group No. 1-1 (X)	9.8	17.6	204.7	11.7	26.3	57.5	1.5	327.2	213.1	3.3	269.5	19.2
Group No. 1-1 (SD)	7.0	1.0	21.7	0.9	11.0	2.3	2.6	147.4	20.5	5.0	56.7	1.6
No. 1-1 / No. 1-0, %	59.5	0.9	-10.5	-7.5	39.7	-11.1	-1.1	-66.3	-23.3	-92.6	-16.3	-0.4
<i>p</i>	0.42	0.75	0.07	0.07	0.35	0.03	0.65	0.12	0.07	0.03	0.35	0.75
Antibiotic	CK-Nac, U/L	Potassium, mmol/l	Ca, mmol/l	UA, μmol/l	LDH, U/L	Mg, mmol/l	Triglycerides, mmol/l	Phosphorus, mmol/l	Chloride, mmol/l	Cholesterol, mmol/l	Cholinesterase, U/L	Globulin, g/l
Group No. 1-0 (X)	1006.0	8.2	6.2	369.3	332.2	2.1	12.2	2.7	129.2	3.0	2234.7	47.3
Group No. 1-0 (SD)	1250.0	2.7	1.6	159.3	124.8	0.6	6.3	1.0	11.4	1.1	380.5	3.4
Group No. 1-1 (X)	543.9	8.2	6.9	475.6	204.0	1.7	13.4	2.4	123.4	3.4	1992.8	40.0
Group No. 1-1 (SD)	202.6	3.8	0.8	87.5	58.1	0.7	4.4	0.5	2.2	0.9	368.1	2.3
No. 1-1 / No. 1-0, %	-45.9	-0.4	11.9	28.8	-38.6	-20.6	9.3	-9.4	-4.5	13.6	-10.8	-15.5
<i>p</i>	0.92	0.92	0.09	0.25	0.05	0.14	0.46	0.75	0.25	0.25	0.35	0.03

Note. Group No. 1-0 is the beginning of the experience, group #1-1 is the end of experience.

У несушек, получавших энрофлоксацин (группа № 1), отмечено достоверное снижение концентрации общего белка на 11,1 %, глобулинов – на 15,5 %, γ-ГТ – на 92,6 %, общей ЛДГ – на 38,6% (таблица 2). Изменения, касающиеся общего белка и глобулинов могут указывать на снижение антигенной нагрузки, ассоциированной с кишечной микрофлорой, что подтверждает антибактериальную эффективность использованного антибиотика, но также может указывать

на некоторую супрессию гуморальной части иммунитета. Также достоверное снижение уровня общей ЛДГ при отсутствии значимых изменений маркеров метаболических патологий может указывать на снижение продукции лактата, который продуцируется не только эукариотными, но и прокариотными клетками, что также может указывать на подавление бактериальной микрофлоры.

Изменения биохимических показателей крови птиц группы № 2

Группа № 2	АлТ, ед/л	Альбумин, г/л	АсТ, ед/л	Глюкоза, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л	Общий белок, г/л	Общий билирубин, мкмоль/л	Щелочная фосфатаза, ед/л	α -амилаза, Ед/л	γ -ГТ, ед/л	ГлДГ, ед/л	Железо, мкмоль/л
Группа № 2-0 (X)	7,4	17,2	271,2	11,5	28,8	62,5	4,8	1382,0	317,4	57,2	305,4	20,8
Группа № 2-0 (SD)	5,9	1,5	38,3	0,7	8,2	9,0	5,0	421,9	116,9	58,1	91,5	2,4
Группа № 2-1 (X)	9,3	17,4	263,0	11,7	23,3	61,5	8,3	1089,2	197,0	9,8	215,7	17,4
Группа № 2-1 (SD)	7,7	1,6	39,8	0,6	20,7	5,5	6,8	640,1	76,2	10,8	84,2	1,9
№ 2-1 / № 2-0, %	25,0	1,0	-3,0	1,7	-19,0	-1,6	72,9	-21,2	-37,9	-82,8	-9,4	-16,5
<i>p</i>	0,14	0,50	0,50	0,50	0,50	0,89	0,47	0,22	0,14	0,14	0,35	0,14
Группа #2	КФК-Нас, ед/л	Калий, ммоль/л	Кальций, ммоль/л	Мочевая кислота, мкмоль/л	ЛДГ, ед/л	Магний, ммоль/л	Триглицериды, ммоль/л	Фосфор, ммоль/л	Хлориды, ммоль/л	Холестерин, ммоль/л	Холинэстераза, ед/л	Глобулины, г/л
Группа № 2-0 (X)	893,1	8,8	6,1	366,9	429,8	2,4	13,5	3,0	125,5	3,3	2376,0	45,4
Группа № 2-0 (SD)	602,6	0,8	0,5	111,0	216,5	0,8	5,0	0,5	6,8	1,8	472,6	8,8
Группа № 2-1 (X)	1289,6	6,4	6,3	567,0	198,9	1,3	12,4	2,6	125,0	3,0	2448,6	44,2
Группа № 2-1 (SD)	922,6	2,6	1,1	112,1	48,2	0,3	5,2	0,8	2,4	0,7	704,9	5,0
№ 2-1 / № 2-0, %	44,4	-27,6	3,6	54,5	-53,7	-43,2	-8,0	-14,6	-0,4	-7,9	3,1	-2,6
<i>p</i>	0,50	0,04	0,50	0,04	0,04	0,04	0,35	0,04	0,89	0,89	0,69	0,69

Примечание. Группа #2-0 – начало опыта, группа № 2-1 – конец опыта.

Table 3

Changes in biochemical blood parameters of birds of group No. 2

Antibiotic+ Phytobiotic	ALT, u/l	Alb, g/l	AST, u/l	Glu, mmol/l	Crea, μ mol/l	TP, g/l	TB, μ mol/l	ALP, u/l	α -Amylase, u/l	γ -GT, u/l	GLDH, u/l	Iron, μ mol/l
Group No. 2-0 (\bar{X})	7.4	17.2	271.2	11.5	28.8	62.5	4.8	1382.0	317.4	57.2	305.4	20.8
Group No. 2-0 (SD)	5.9	1.5	38.3	0.7	8.2	9.0	5.0	421.9	116.9	58.1	91.5	2.4
Group No. 2-1 (X)	9.3	17.4	263.0	11.7	23.3	61.5	8.3	1089.2	197.0	9.8	215.7	17.4
Group #2-1 (SD)	7.7	1.6	39.8	0.6	20.7	5.5	6.8	640.1	76.2	10.8	84.2	1.9
No. 2-1 / No. 2-0, %	25.0	1.0	-3.0	1.7	-19.0	-1.6	72.9	-21.2	-37.9	-82.8	-29.4	-16.5
<i>p</i>	0.14	0.50	0.50	0.50	0.50	0.89	0.47	0.22	0.14	0.14	0.35	0.14
Antibiotic + Phytobiotic	CK-Nac, u/l	Potassium, mmol/l	Ca, mmol/l	UA, μ mol/l	LDH, u/l	Mg, mmol/l	Triglycerides, mmol/l	Phosphorus, mmol/l	Chloride, mmol/l	Cholesterol, mmol/l	Cholinesterase, u/l	Globulin, g/l
Group No. 2-0 (\bar{X})	893.1	8.8	6.1	366.9	429.8	2.4	13.5	3.0	125.5	3.3	2376.0	45.4
Group No. 2-0 (SD)	602.6	0.8	0.5	111.0	216.5	0.8	5.0	0.5	6.8	1.8	472.6	8.8
Group No. 2-1 (X)	1289.6	6.4	6.3	567.0	198.9	1.3	12.4	2.6	125.0	3.0	2448.6	44.2
Group #2-1 (SD)	922.6	2.6	1.1	112.1	48.2	0.3	5.2	0.8	2.4	0.7	704.9	5.0
No. 2-1 / No. 2-0, %	44.4	-27.6	3.6	54.5	-53.7	-43.2	-0	-14.6	-0.4	-7.9	3.1	-2.6
<i>p</i>	0.50	0.04	0.50	0.04	0.04	0.04	0.35	0.04	0.89	0.89	0.69	0.69

Note. Group No. 2-0 is the beginning of the experience, group No. 2-1 – end of experience.

У группы, получавшей энрофлоксацин совместно с фитобиотиком (группа № 2), установили достоверное снижение концентрации калия на 27,6 %, общей ЛДГ на 53,7 %, магния на 43,2 %, неорганического фосфора на 14,6 %, а также увеличение количества мочевой кислоты на 54,5 % (таблица 3). Достоверное снижение концентрации общей ЛДГ без значимых изменений сопутствующих маркеров метаболических нарушений может быть связано со

снижением продукции молочной кислоты в процессе анаэробного метаболизма микробных клеток. Известно, что у кур-несушек и цыплят-бройлеров изменение состава микрофлоры желудочно-кишечного тракта под действием фитобиотиков либо пробиотиков, замещающих патогенные штаммы симбионтными, приводит к изменению бактериального метаболизма. Ингибирование кислотопродуцирующих бактерий, в первую очередь семейства *Enterococcus*

bacteriaceae (в том числе БЛРС-положительных *E. coli*), влияет на снижение концентрации кислот. У ряда штаммов обнаруживали изменение профиля метаболитов: уменьшение выработки лактата и увеличение масляной, пропионовой и валериановой кислот. Кроме того, под действием фитобиотиков у кур повышается активность ферментов антиоксидантной системы (CAT, SOD-1, GPX-1, NRF2, NQO1 и HO-1), что ослабляет негативное действие бактериальных метаболитов на организм птиц [17–19].

При этом в данной группе отсутствовали как рост, так и значимое падение количества общего белка и его глобулярных фракций, что могло свидетельствовать об отсутствии роста антигенной нагрузки от кишечной микрофлоры и отсутствии супрессии гуморального компонента иммунной системы. Относительная быстрота ответа иммунной системы на смену состава микрофлоры связана с характерной для кур высокой реактивностью кишечного микробиома [20; 21].

Уменьшение концентрации калия и магния могло быть связано со снижением проницаемости клеточных мембран и интенсивности цитолитических процессов в организме куриц, получавших антибиотик совместно с фитобиотиком. Эти факты свидетельствовали о мембраностабилизирующих эффектах фитобиотика, снижении процессов перекисного окисления липидов, индуцированных свободными радикалами, образующимися в процессе жизнедеятельности бактерий, что согласуется с имеющимися в литературе данными о применении фитобиотиков у кур [19; 22].

Кроме того, наблюдали увеличение концентрации мочевой кислоты и тенденцию к снижению креатинина, предположительно связанные с усилением азотистого обмена, обусловленного повышением всасывания азотистых веществ из пищеварительного тракта на фоне снижения конкуренции за нутриенты между макроорганизмом и микроорганизмами.

У группы, получавшей фитобиотик (группа № 3), было установлено достоверное снижение альфа-амилазы на 35,5 % и фосфора на 25,4 %, а также увеличение уровня глюкозы на 8,2 %, щелочной фосфатазы на 72,0 % (таблица 4.). Снижение активности альфа-амилазы могло быть связано со снижением концентрации общего кальция, который входит в структуру этого фермента. Также совместно со снижением количества кальция происходило достоверное снижение уровня неорганического фосфора, что косвенно могло указывать на развитие некоторого недостатка холекальциферола.

Выявленные метаболические изменения приводили к достоверному росту активности щелочной фосфатазы, что позволяло частично компенсировать нехватку всасывания кальция и фосфора из кишечника. Вероятный дефицит холекальциферола

был обусловлен тем, что этот жирорастворимый витамин частично растворялся в липидной основе фитобиотика, что затрудняло его всасывание в кишечнике [23]. В этой группе птиц на фоне фитобиотика была отмечена тенденция к менее выраженному относительно контрольной группы росту глобулинов, что говорило о его бактериостатическом эффекте, но в то же время этот эффект менее выражен по отношению к энрофлоксацину.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Анализ полученных результатов показал возможность воздействия на метаболизм кур-несушек фитобиотическим препаратом на основе облепихи, клевера лугового, масла горчичного и кедрового. Отмеченные биохимические и иммунологические эффекты согласуются с имеющимися в литературе сведениями о взаимосвязи микробиома, бактериальных метаболитов, обмена веществ несушек, а также о положительном действии фитобиотиков на здоровье несушек, их продуктивность и качество яйца [24–26].

При сравнительном анализе характера тенденций изменения биохимических маркеров были исключены показатели, имеющие характер идентичных. К таким показателям относились α -амилаза, ГГТ, ГлДГ, ЛДГ, неорганический фосфор и хлориды. Одинаковые тенденции могут говорить об их изменении ввиду одинакового рациона, а также о возрастных особенностях и условиях содержания. При этом степень выраженности изменений позволяет предположить наличие дополнительных факторов, вносящих определенный вклад в эти изменения.

Анализ изменения показателей в группе, получавшей энрофлоксацин, по сравнению с контрольной группой выявил ряд тенденций, которые заключались в снижении воспалительных процессов в мышцах птиц, на что указывало одновременное снижение активности АсТ и общей креатинкиназы. Одновременный рост уровня креатинина и мочевой кислоты свидетельствовал о снижении выделительной функции почек.

Также отмечали ослабление интенсивности цитолитических процессов в организме птицы, что подтверждалось снижением количества калия, магния, железа и общего билирубина. Снижение показателя глобулиновой фракции и активности псевдохолинэстеразы в данной ситуации являлось косвенным признаком ослабления воспалительных процессов и уменьшения антигенной нагрузки от кишечной микрофлоры на организм птиц.

Незначительное повышение триглицеридов со снижением уровня глюкозы могло быть следствием усиления утилизации глюкозы эукариотными клетками, снижения компенсаторных липолитических процессов.

Изменения биохимических показателей крови птиц группы № 3

Фитобиотик	АлТ, ед/л	Альбумин, г/л	АсТ, ед/л	Глюкоза, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л	Общий белок, г/л	Общий билирубин, мкмоль/л	Щелочная фосфатаза, ед/л	α -Амилаза, ед/л	γ -ГТ, ед/л	ГлДГ, ед/л	Железо, мкмоль/л
Группа № 3-0 (X)	16,8	19,0	193,5	10,8	30,4	60,5	1,5	386,2	343,9	23,9	283,9	13,2
Группа № 3-0 (SD)	10,0	1,7	103,3	0,6	10,4	7,4	1,8	102,3	131,0	17,3	120,5	4,5
Группа № 3-1 (X)	16,5	17,6	253,3	11,7	27,2	64,9	0,7	664,3	221,7	16,7	281,9	18,1
Группа № 3-1 (SD)	10,3	2,1	42,6	0,6	14,9	9,3	1,1	148,3	63,1	13,5	205,1	2,3
№ 3-1 / № 3-0, %	-2,0	-7,4	30,9	8,2	-10,5	7,2	-50,0	72,0	-35,5	-30,4	-0,7	36,7
<i>p</i>	1,00	0,17	0,35	0,03	0,60	0,25	0,42	0,03	0,05	0,25	0,92	0,07
Фитобиотик	КФК-Нас, ед/л	Калий, ммоль/л	Кальций, ммоль/л	Мочевая кислота, ммоль/л	ЛДГ, ед/л	Магний, ммоль/л	Триглицериды, ммоль/л	Фосфор, ммоль/л	Хлориды, ммоль/л	Холестерин, ммоль/л	Холинэстераза, ед/л	Глобулины г/л
Группа № 3-0 (X)	1075,9	6,3	6,4	449,4	244,6	2,5	9,9	3,2	124,0	2,3	2288,8	41,5
Группа № 3-0 (SD)	736,6	1,1	0,7	18,8	51,7	1,2	2,0	0,4	5,3	0,4	328,5	6,0
Группа № 3-1 (X)	1134,6	7,9	5,8	403,6	183,5	1,5	10,6	2,4	111,8	2,4	2432,1	47,3
Группа № 3-1 (SD)	881,4	3,2	1,5	66,1	53,1	0,6	6,2	0,7	10,3	0,7	314,2	7,7
№ 3-1 / № 3-0, %	5,5	24,6	-9,2	-10,2	-25,0	-41,7	7,6	-25,4	-9,8	2,9	6,3	13,8
<i>p</i>	0,92	0,46	0,29	0,17	0,17	0,17	0,92	0,03	0,07	0,69	0,46	0,07

Примечание. Группа № 3-0 – начало опыта, группа № 3-1 – конец опыта

Table 4

Changes in biochemical blood parameters of birds of group No. 3

Phytobiotic	ALT, u/l	Alb, g/l	AST, u/l	Glu, mmol/l	Crea, μ mol/l	TP, g/l	TB, μ mol/l	ALP, u/l	α -Amylase, u/l	γ -GT, u/l	GLDH, u/l	Iron, μ mol/l
Group No. 3-0 (X)	16.8	19.0	193.5	10.8	30.4	60.5	1.5	386.2	343.9	23.9	283.9	13.2
Group No. 3-0 (SD)	10.0	1.7	103.3	0.6	10.4	7.4	1.8	102.3	131.0	17.3	120.5	4.5
Group No. 3-1 (X)	16.5	17.6	253.3	11.7	27.2	64.9	0.7	664.3	221.7	16.7	281.9	18.1
Group No. 3-1 (SD)	10.3	2.1	42.6	0.6	14.9	9.3	1.1	148.3	63.1	13.5	205.1	2.3
No. 3-1 / No. 3-0, %	-2.0	-7.4	30.9	8.2	-10.5	7.2	-50.0	72.0	-35.5	-30.4	-0.7	36.7
<i>p</i>	1.00	0.17	0.35	0.03	0.60	0.25	0.42	0.03	0.05	0.25	0.92	0.07
Phytobiotic	CK-Nac, u/l	Potassium, mmol/l	Ca, mmol/l	UA, μ mol/l	LDH, u/l	Mg, mmol/l	Triglycerides, mmol/l	Phosphorus, mmol/l	Chloride, mmol/l	Cholesterol, mmol/l	Cholinesterase, u/l	Globulin, g/l
Group #3-0 (X)	1075.9	6.3	6.4	449.4	244.6	2.5	9.9	3.2	124.0	2.3	2288.8	41.5
Group #3-0 (SD)	736.6	1.1	0.7	18.8	51.7	1.2	2.0	0.4	5.3	0.4	328.5	6.0
Group #3-1 (X)	1134.6	7.9	5.8	403.6	183.5	1.5	10.6	2.4	111.8	2.4	2432.1	47.3
Group #3-1 (SD)	881.4	3.2	1.5	66.1	53.1	0.6	6.2	0.7	10.3	0.7	314.2	7.7
#3-1/#3-0, %	5.5	24.6	-9.2	-10.2	-25.0	-41.7	7.6	-25.4	-9.8	2.9	6.3	13.8
<i>p</i>	0.92	0.46	0.29	0.17	0.17	0.17	0.92	0.03	0.07	0.69	0.46	0.07

Notes: Group No. 3-0 is the beginning of experience, group #3-1 is the end of experience.

Рост концентрации общего холестерина также указывал на увеличение его синтеза в печени птиц и на изменение состава липопротеинов.

Применение фитобиотика привело к снижению проницаемости гепатоцитов, что подтверждается снижением уровня АлТ, а в контрольной группе наблюдается повышение ее активности в плазме.

При этом повышение активности АсТ в данном случае может говорить об усилении обмена аминокислот из-за отсутствия выраженного изменения активности общей креатинкиназы и снижения активности АлТ, но может указывать на некоторое увеличение цитолитических процессов, особенно на фоне увеличения количества калия.

Менее выраженный рост глобулиновой фракции предположительно связан со снижением антигенной нагрузки по отношению к контрольной группе, что, в свою очередь, могло говорить о бактериостатическом эффекте фитобиотика, менее выраженном, чем у энрофлоксацина.

Снижение уровня мочевой кислоты говорит об улучшении выделительной функции почек, но также может указывать на понижение уровня обмена пуринов, что, в свою очередь, свидетельствуют о снижении регенераторных процессов и синтеза белков, что опосредованно может быть связано с отсутствием цитолиза клеток, провоцируемых микробной нагрузкой.

Относительно менее выраженный рост триглицеридов указывает на снижение липолитических процессов в организме птиц.

Суммируя все метаболические эффекты фитобиотика, можно говорить о косвенных признаках антимикробного эффекта, но данный эффект менее выражен по отношению к энрофлоксацину. При этом можно судить об отсутствии нефротоксического и гепатотоксического эффектов фитобиотика относительно энрофлоксацина.

Метаболические эффекты комплексного применения энрофлоксацина и фитобиотика носят во многом аддитивный характер, проявляя положительные эффекты обоих и смягчая негативные эффекты друг друга, что выражалось в снижении проницаемости мембран и гибели гепатоцитов, на что указывают менее выраженный во времени рост АлТ и незначительное снижение АсТ. Общее снижение цитолитических процессов в организме птиц проявлялось снижением в плазме крови уровня внутриклеточных минеральных веществ, таких как магний и калий.

Также наблюдали отсутствие нефротоксического эффекта, что подтверждалось снижением количества креатинина. При этом отмечен рост уровня

мочевой кислоты, что в этой ситуации могло указывать на активизацию пуринового обмена и как следствие нуклеиновых кислот.

Также присутствуют косвенные признаки выраженного противомикробного эффекта, который выражался в снижении глобулиновой фракции белков плазмы крови.

Все вышеизложенное позволяло распределить опытные группы по выраженности антимикробного эффекта по убыванию: энрофлоксацин, энрофлоксацин + фитобиотик, фитобиотик. При этом в группе, получавшей только энрофлоксацин, отмечены некоторые негативные эффекты, а именно иммуносупрессивный, нефротоксический и цитолитический.

В группе, получавшей фитобиотик, отмечено минимальное антимикробное воздействие на фоне снижения всасывания нутриентов липидной природы при других положительных эффектах, выразившихся в мембраностабилизирующих и антиоксидантных свойствах.

В группе, получавшей энрофлоксацин + фитобиотик, отмечали оптимальные антимикробные эффекты, не сопровождающиеся угнетением гуморальной части иммунной системы птиц, а также отсутствие выраженного нефротоксического и цитолитических эффектов. Выявленные эффекты позволяют предположить аддитивность воздействия комплексного применения этих субстанций, позволяющих им проявлять свои положительные эффекты на организм птиц без ярко выраженных побочных эффектов.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ, проект № 18-16-00040 П «Разработка системы для блокирования ферментативной активности патогенных и условно-патогенных микроорганизмов в условиях хронического иммунодефицита и трансмиссивной антибиотикорезистентности у животных и птиц».

Библиографический список

1. Дускаев Г. К., Дроздова Е. А., Алешина Е. С., Безрядина А. С. Оценка воздействия на кишечную микрофлору птицы веществ, обладающих антибиотическим, пробиотическим и анти-quorum sensing эффектами // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 11 (211). С. 84–87.
2. Marshall B. M., Levy S. B. Food animals and antimicrobials: impacts on human health // *Clinical Microbiology Reviews*. 2011. No. 24 (4). Pp. 718–733. DOI: 10.1128/CMR.00002-11.
3. Borchardt R. A., Rolston K. V. Antibiotic shortages: effective alternatives in the face of a growing problem // *Journal of the American Academy of Physician Assistants*. 2013. No. 26 (2). Pp. 13–18. DOI: 10.1097/01720610-201302000-00004.
4. Cooper M. A., Shlaes D. Fix the antibiotics pipeline // *Nature*. 2011. No. 472. Article number 32. DOI: 10.1038/472032a.
5. Seal B. S., Lillehoj H. S., Donovan D. M., Gay C. G. Alternatives to antibiotics: a symposium on the challenges and solutions for animal production // *Animal Health Research Reviews*. 2013. No. 14 (1). Pp. 78–87. DOI: 10.1017/S1466252313000030.
6. Muhammed A. A., He J. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: a review // *Animal Nutrition*. 2018. No. 4 (3). Pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.aninu.2018.04.010.

7. Kuralkar P., Kuralkar S. V. Role of herbal products in animal production – An updated review // *The Journal of Ethnopharmacology*. 2021. No. 278. Article number 114246. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114246.
8. Huyghebaert G., Ducatelle R., Van Immerseel F. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers // *The Veterinary Journal*. 2011. No. 187 (2). Pp. 182–188. DOI: 10.1016/j.tvjl.2010.03.003.
9. Lee K. W., Everts H., Kappert H. J., Wouterse H., Frehner M., Beynen A. C. Cinnamaldehyde, but not thymol, counteracts the carboxymethyl cellulose-induced growth depression in female broiler chickens // *International journal of poultry science*. 2004. No. 3 (9). Pp. 608–612. DOI: 10.3923/ijps.2004.608.612.
10. Stavri M., Piddock L. J., Gibbons S. Bacterial efflux pump inhibitors from natural sources // *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2007. No. 59 (6). Pp. 1247–1260. DOI: 10.1093/jac/dkl460.
11. Windisch W., Schedle K., Plitzer C., Kroismayr A. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry // *Journal of Animal Science*. 2008. No. 6 (S14). Pp. E140–E148. DOI: 10.2527/jas.2007-0459.
12. Hashemi S. R., Davoodi H. Phyto-genics as new class of feed additives in poultry industry // *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2010. No. 9 (17). Pp. 2295–2304. DOI: 10.3923/javaa.2010.2295.2304.
13. Singh J., Gaikwad D. S. Phytogetic feed additives in animal nutrition // In: A. Singh, Yadav (Eds). *Natural bioactive products in sustainable agriculture*. Singapore: Springer. 2020. Pp. 273–289. DOI: 10.1007/978-981-15-3024-1_13.
14. Ghosh T., Kumar A., Sati A., Mondal B. C., Singh S. K., Kumar R. Effect of dietary supplementation of herbal feed additives (black cumin, garlic and turmeric) in combination with linseed oil on production performance of white leghorn laying chickens // *Journal of entomology and zoology studies*. 2020. No. 8 (6). Pp. 478–482.
15. Al-Kassie G. A. M. The role of peppermint (*Mentha piperita*) on performance in broiler diets // *Agriculture and Biology Journal of North America*. 2010. No. 1 (5). Pp. 1009–1013.
16. Saeed M., Naveed M., Leskovec J., Ali Kamboh A., Kakar I., Ullah K., Ahmad F., Sharif M., Javaid A., Rauf M., Abd El-Hack M. E., Abdel-Latif M. A., Chao S. Using guduchi (*Tinospora cordifolia*) as an eco-friendly feed supplement in human and poultry nutrition // *Poultry Science*. 2020. No. 99 (2). Pp. 801–811. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.051.
17. Abad P., Arroyo-Manzanares N., Ariza J. J., Baños A., García-Campaña A. M. Effect of *Allium* Extract Supplementation on Egg Quality, Productivity, and Intestinal Microbiota of Laying Hens // *Animals (Basel)*. 2020. No. 11 (1). Article number 41. DOI: 10.3390/ani11010041.
18. Ren H., Vahjen W., Dadi T., Saliu E. M., Boroogeni F. G., Zentek J. Synergistic Effects of Probiotics and Phyto-biotics on the Intestinal Microbiota in Young Broiler Chicken // *Microorganisms*. 2019. No. 7 (12). Article number 684. DOI: 10.3390/microorganisms7120684.
19. Meligy A. M. A., El-Hamid M. I. A., Yonis A. E., Elhaddad G. Y., Abdel-Raheem S. M., El-Ghareeb W. R., Mohamed M. H. A., Ismail H., Ibrahim D. Liposomal encapsulated oregano, cinnamon, and clove oils enhanced the performance, bacterial metabolites antioxidant potential, and intestinal microbiota of broiler chickens // *Poultry Science*. 2023. No. 102 (6). Article number 102683. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102683.
20. Laptev G. Y., Yildirim E. A., Ilina L. A., Filippova V. A., Kochish I. I., Gorfunkel E. P., Dubrovin A. V., Brazh-nik E. A., Narushin V. G., Novikova N. I., Novikova O. B., Dunyashev T. P., Smolensky V. I., Surai P. F., Griffin D. K., Romanov M. N. Effects of Essential Oils-Based Supplement and *Salmonella* Infection on Gene Expression, Blood Parameters, Cecal Microbiome, and Egg Production in Laying Hens // *Animals (Basel)*. 2021. No. 11 (2). Article number 360. DOI: 10.3390/ani11020360.
21. Swaggerty C. L., Bortoluzzi C., Lee A., Eyng C., Pont G. D., Kogut M. H. Potential Replacements for Antibiotic Growth Promoters in Poultry: Interactions at the Gut Level and Their Impact on Host Immunity // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2022. No. 1354. Pp. 145–159. DOI: 10.1007/978-3-030-85686-1_8.
22. Patra A. K., Kar I. Heat stress on microbiota composition, barrier integrity, and nutrient transport in gut, production performance, and its amelioration in farm animals // *The Journal of Animal Science and Technology*. 2021. No. 63 (2). Pp. 211–247. DOI: 10.5187/jast.2021.e48.
23. Attia Y. A., Al-Harhi M. A., Abo El-Maaty H. M. Calcium and Cholecalciferol Levels in Late-Phase Laying Hens: Effects on Productive Traits, Egg Quality, Blood Biochemistry, and Immune Responses // *Frontiers in veterinary science*. 2020. No. 7. Article number 389. DOI: 10.3389/fvets.2020.00389.
24. Obianwuna U. E., Oleforuh-Okoleh V. U., Wang J., Zhang H. J., Qi G. H., Qiu K., Wu S. G. Natural Products of Plants and Animal Origin Improve Albumen Quality of Chicken Eggs // *Frontiers in Nutrition*. 2022. No. 9. Article number 875270. DOI: 10.3389/fnut.2022.875270.
25. Taha-Abdelaziz K., Hodgins D. C., Lammers A., Alkie T. N., Sharif S. Effects of early feeding and dietary interventions on development of lymphoid organs and immune competence in neonatal chickens: A review // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2018. No. 201. DOI: 10.1016/j.vetimm.2018.05.001.
26. Al-Khalaifah H. S. Benefits of probiotics and/or prebiotics for antibiotic-reduced poultry // *Poultry Science*. 2018. No. 97 (11). Pp. 3807–3815. DOI: 10.3382/ps/pey160.

Об авторах:

Елисей Николаевич Беспамятных¹, кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и экспертизы, ORCID 0000-0003-4347-6554, AuthorID 648306; +7 (343) 371-33-63, demonorth@mail.ru

Анна Сергеевна Кривоногова¹, доктор биологических наук, доцент, ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239; +7 (343) 371-33-63, tel-89826512934@yandex.ru

Альбина Геннадьевна Исаева¹, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры инфекционной и незаразной патологии, ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717; +7 (343) 371-33-63, isaeva.05@bk.ru

Ирина Михайловна Донник¹, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, заведующая кафедрой инфекционной и незаразной патологии; ORCID 0000-0001-8349-3004, AuthorID 313786; +7 (343) 371-33-63, ktqrjp7@yandex.ru

Анастасия Евгеньевна Ченцова¹, научный сотрудник научно-исследовательского института биологической безопасности, ORCID 0009-0002-2105-7607, AuthorID 1111032; +7 (343) 371-33-63, myshinda@rambler.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Metabolic changes in the organism of laying hens when using antibiotics and phytobiotics

E. N. Bepamyatnykh¹, A. S. Krivonogova¹, A. G. Isaeva¹✉, I. M. Donnik¹, A. E. Chentsova¹

¹Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: isaeva.05@bk.ru

Abstract. The use of medicinal plant extracts in animal production has recently increased due to the discovery of previously unreported side effects of antibiotics, including the cumulation of their toxic metabolites in food, as well as the increased occurrence of antibiotic resistance of microorganisms. Non-therapeutic use of antimicrobials is also associated with the spread of multiple drug resistance, including resistance to antimicrobials that have never been used in animal agriculture. It has long been known that components of plant substances have the ability to inhibit bacterial growth. It is becoming common practice to use plant essential oils to improve feed utilization by ruminants, and essential oils have long been known for their antimicrobial properties.

The purpose of this work was to evaluate the metabolic effects of phytobiotic and joint use with antibiotic in controlling microbial load. According to the results obtained, it is clear that phytobiotic in addition to antimicrobial effects has other positive effects expressed in membrane stabilizing and antioxidant properties, but there are some negative effects associated with difficulty of digestion and absorption of lipid nutrients. At the same time, the combined use of phytobiotic and antibiotic showed itself as optimal, due to the good antimicrobial effect, while mitigating or eliminating the negative effects identified when using phytobiotic and enrofloxacin separately, namely, eliminating immunosuppressive and depressive effects, as well as the absence of manifestations of impaired digestion and absorption of fat-soluble nutrients. **Scientific novelty.** The data obtained will expand the range of antimicrobial agents used in poultry farming, as well as allow the use of more flexible schemes to control the microbial load on the body of birds.

Keywords: phytobiotics, antibiotics, metabolic effects, laying hens, antimicrobial action.

For citation: Bepamyatnykh E. N., Krivonogova A. S., Isaeva A. G., Donnik I. M., Chentsova A. E. Metabolicheskiye izmeneniya v organizme kur-nesushek primeneniya antibiotika i fitobiotika [Metabolic changes in the organism of laying hens when using antibiotics and phytobiotics] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 71–82. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-71-82. (In Russian.)

Date of paper submission: 23.08.2022, **date of review:** 01.12.2022, **date of acceptance:** 13.12.2022.

References

1. Duskaev G. K., Drozdova E. A., Aleshina E. S., Bezryadina A. S. Otsenka vozdeystviya na kishechnuyu mikrobiyotitsy veshchestv, obladayushchikh antibioticheskim, probioticheskim i anti-quorum-sensing effektami [Estimation of impact on the intestinal microflora of birds of substances with antibiotic, probiotic and anti-quorum sensing effects] // Vestnik Orenburg State University. 2017. No. 11 (211). Pp. 84–87. (In Russian.)

2. Marshall B. M., Levy S. B. Food animals and antimicrobials: impacts on human health // *Clinical Microbiology Reviews*. 2011. No. 24 (4). Pp. 718–733. DOI: 10.1128/CMR.00002-11.
3. Borchardt R. A., Rolston K. V. Antibiotic shortages: effective alternatives in the face of a growing problem // *Journal of the American Academy of Physician Assistants*. 2013. No. 26 (2). Pp. 13–18. DOI: 10.1097/01720610-201302000-00004.
4. Cooper M. A., Shlaes D. Fix the antibiotics pipeline // *Nature*. 2011. No. 472. Article number 32. DOI: 10.1038/472032a.
5. Seal B. S., Lillehoj H. S., Donovan D. M., Gay C. G. Alternatives to antibiotics: a symposium on the challenges and solutions for animal production // *Animal Health Research Reviews*. 2013. No. 14 (1). Pp. 78–87. DOI: 10.1017/S1466252313000030.
6. Muhammed A. A., He J. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: a review // *Animal Nutrition*. 2018. No. 4 (3). Pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.aninu.2018.04.010.
7. Kuralkar P., Kuralkar S. V. Role of herbal products in animal production – An updated review // *The Journal of Ethnopharmacology*. 2021. No. 278. Article number 114246. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114246.
8. Huyghebaert G., Ducatelle R., Van Immerseel F. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers // *The Veterinary Journal*. 2011. No. 187 (2). Pp. 182–188. DOI: 10.1016/j.tvjl.2010.03.003.
9. Lee K. W., Everts H., Kappert H. J., Wouterse H., Frehner M., Beynen A. C. Cinnamaldehyde, but not thymol, counteracts the carboxymethyl cellulose-induced growth depression in female broiler chickens // *International journal of poultry science*. 2004. No. 3 (9). Pp. 608–612. DOI: 10.3923/ijps.2004.608.612.
10. Stavri M., Piddock L. J., Gibbons S. Bacterial efflux pump inhibitors from natural sources // *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2007. No. 59 (6). Pp. 1247–1260. DOI: 10.1093/jac/dkl460.
11. Windisch W., Schedle K., Plitzer C., Kroismayr A. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry // *Journal of Animal Science*. 2008. No. 6 (S14). Pp. E140–E148. DOI: 10.2527/jas.2007-0459.
12. Hashemi S. R., Davoodi H. Phyto-genics as new class of feed additives in poultry industry // *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2010. No. 9 (17). Pp. 2295–2304. DOI: 10.3923/javaa.2010.2295.2304.
13. Singh J., Gaikwad D. S. Phytogetic feed additives in animal nutrition // In: A. Singh, Yadav (Eds). *Natural bioactive products in sustainable agriculture*. Singapore: Springer. 2020. Pp. 273–289. DOI: 10.1007/978-981-15-3024-1_13.
14. Ghosh T., Kumar A., Sati A., Mondal B. C., Singh S. K., Kumar R. Effect of dietary supplementation of herbal feed additives (black cumin, garlic and turmeric) in combination with linseed oil on production performance of white leghorn laying chickens // *Journal of entomology and zoology studies*. 2020. No. 8 (6). Pp. 478–482.
15. Al-Kassie G. A. M. The role of peppermint (*Mentha piperita*) on performance in broiler diets // *Agriculture and Biology Journal of North America*. 2010. No. 1 (5). Pp. 1009–1013.
16. Saeed M., Naveed M., Leskovec J., Ali Kamboh A., Kakar I., Ullah K., Ahmad F., Sharif M., Javaid A., Rauf M., Abd El-Hack M. E., Abdel-Latif M. A., Chao S. Using guduchi (*Tinospora cordifolia*) as an eco-friendly feed supplement in human and poultry nutrition // *Poultry Science*. 2020. No. 99 (2). Pp. 801–811. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.051.
17. Abad P., Arroyo-Manzanares N., Ariza J. J., Baños A., García-Campana A. M. Effect of *Allium* Extract Supplementation on Egg Quality, Productivity, and Intestinal Microbiota of Laying Hens // *Animals (Basel)*. 2020. No. 11 (1). Article number 41. DOI: 10.3390/ani11010041.
18. Ren H., Vahjen W., Dadi T., Saliu E. M., Borojoni F. G., Zentek J. Synergistic Effects of Probiotics and Phyto-biotics on the Intestinal Microbiota in Young Broiler Chicken // *Microorganisms*. 2019. No. 7 (12). Article number 684. DOI: 10.3390/microorganisms7120684.
19. Meligy A. M. A., El-Hamid M. I. A., Yonis A. E., Elhaddad G. Y., Abdel-Raheem S. M., El-Ghareeb W. R., Mohamed M. H. A., Ismail H., Ibrahim D. Liposomal encapsulated oregano, cinnamon, and clove oils enhanced the performance, bacterial metabolites antioxidant potential, and intestinal microbiota of broiler chickens // *Poultry Science*. 2023. No. 102 (6). Article number 102683. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102683.
20. Laptsev G. Y., Yildirim E. A., Ilina L. A., Filippova V. A., Kochish I. I., Gorfunkel E. P., Dubrovin A. V., Brazhnik E. A., Narushin V. G., Novikova N. I., Novikova O. B., Dunyashev T. P., Smolensky V. I., Surai P. F., Griffin D. K., Romanov M. N. Effects of Essential Oils-Based Supplement and *Salmonella* Infection on Gene Expression, Blood Parameters, Cecal Microbiome, and Egg Production in Laying Hens // *Animals (Basel)*. 2021. No. 11 (2). Article number 360. DOI: 10.3390/ani11020360.
21. Swaggerty C. L., Bortoluzzi C., Lee A., Eyng C., Pont G. D., Kogut M. H. Potential Replacements for Antibiotic Growth Promoters in Poultry: Interactions at the Gut Level and Their Impact on Host Immunity // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2022. No. 1354. Pp. 145–159. DOI: 10.1007/978-3-030-85686-1_8.

22. Patra A. K., Kar I. Heat stress on microbiota composition, barrier integrity, and nutrient transport in gut, production performance, and its amelioration in farm animals // *The Journal of Animal Science and Technology*. 2021. No. 63 (2). Pp. 211–247. DOI: 10.5187/jast.2021.e48.
23. Attia Y. A., Al-Harhi M. A., Abo El-Maaty H. M. Calcium and Cholecalciferol Levels in Late-Phase Laying Hens: Effects on Productive Traits, Egg Quality, Blood Biochemistry, and Immune Responses // *Frontiers in veterinary science*. 2020. No. 7. Article number 389. DOI: 10.3389/fvets.2020.00389.
24. Obianwuna U. E., Oleforuh-Okoleh V. U., Wang J., Zhang H. J., Qi G. H., Qiu K., Wu S. G. Natural Products of Plants and Animal Origin Improve Albumen Quality of Chicken Eggs // *Frontiers in Nutrition*. 2022. No. 9. Article number 875270. DOI: 10.3389/fnut.2022.875270.
25. Taha-Abdelaziz K., Hodgins D. C., Lammers A., Alkie T. N., Sharif S. Effects of early feeding and dietary interventions on development of lymphoid organs and immune competence in neonatal chickens: A review // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2018. No. 201. DOI: 10.1016/j.vetimm.2018.05.001.
26. Al-Khalaifah H. S. Benefits of probiotics and/or prebiotics for antibiotic-reduced poultry // *Poultry Science*. 2018. No. 97 (11). Pp. 3807–3815. DOI: 10.3382/ps/pey160.

Authors' information:

Elisey N. Bepamyatnykh¹, candidate of biological science, associate professor of the department of morphology and expertise, ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239, +7 (343) 371-33-63, demonorth@mail.ru

Anna S. Krivonogova¹, doctor of biological sciences, associate professor, ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239; +7 (343) 371-33-63, tel-89826512934@yandex.ru

Albina G. Isaeva¹, doctor of biological sciences, associate professor, professor of the department of infectious and non-infectious pathology, ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717; +7 (343) 371-33-63, isaeva.05@bk.ru

Irina M. Donnik¹, doctor of biological sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, head of the department of infectious and non-infectious pathology, ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613; +7 (343) 371-33-63, ktqrjp7@yandex.ru

Anastasiya E. Chentsova¹, researcher at the biosafety research institute, ORCID 0009-0002-2105-7607, AuthorID 1111032; +7 (343) 371-33-63, myshinda@rambler.ru

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Сравнительная оценка эффективности кормовых добавок на основе торфосапропелевого концентрата при выращивании бройлеров

М. Н. Дрозд¹, В. М. Усевич¹✉

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: vus5@yandex.ru

Аннотация. Современные условия развития птицеводства повышают влияние технологического стресса на организм птицы, что способствует развитию иммунодефицитных состояний у них. На фоне иммунодефицитов развиваются заболевания различной этиологии, что снижает эффективность отрасли. Для нивелирования отрицательного результата технологического и других видов стресса проводится поиск эффективных средств отечественного производства, что особенно важно в условиях приоритетного использования альтернативных импортозамещающих средств. Поиск эффективных средств, отвечающих всем требованиям профилактики, остается до настоящего времени актуальным вопросом практической ветеринарии. В качестве таких средств выступают кормовые добавки, обладающие широким спектром действия. Часто такие кормовые добавки выполняют роль адаптогенов. В связи с этим **целью** настоящего исследования было сравнение эффективности кормовых добавок, приготовленных на основе торфосапропелевого концентрата в смеси с известными минеральными и пробиотическими компонентами. **Задачи** исследования: оценить эффективность профилактики заболеваний; причины заболеваемости и падежа; сохранности поголовья и повышения качества откорма. **Методы.** Для оценки эффективности испытуемых отечественных кормовых добавок проводили клиническое, патоморфологическое, гистологическое исследования в соответствии зоогигиеническими условиями содержания птицы и статистические методы оценки полученных результатов. В **результате** проведенных исследований по профилактическому скармливанию кормовых добавок на основе торфосапропелевого концентрата отечественного производства выявлено их иммуно- и органопротективное действие. **Научная новизна.** Впервые проведена сравнительная оценка разных кормовых добавок на основе торфосапропелевого концентрата и определено их влияние на профилактику стресса, различных заболеваний, сохранность поголовья и прирост живой массы бройлеров на макро- и микроскопическом уровнях.

Ключевые слова: стресс, иммунодефициты, профилактика, адаптогены, гистология, кормовые добавки.

Для цитирования: Дрозд М. Н., Усевич В. М. Сравнительная оценка эффективности кормовых добавок на основе торфосапропелевого концентрата при выращивании бройлеров // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 83–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-83-92.

Дата поступления статьи: 01.03.2023, **дата рецензирования:** 03.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Отрасль птицеводства обеспечивает население нашей страны полноценными диетическими продуктами. Повышение эффективности промышленного птицеводства до настоящего времени остается одной из важнейших задач работников птицеводства и в частности практической ветеринарии, так как благодаря правильно организованному технологическому процессу при соблюдении плана профилактических противоэпизоотических мероприятий снижается заболеваемость птицы, повышаются сохранность поголовья, конверсия корма и выход мясной продукции высокого санитарного качества.

На повышение сохранности поголовья бройлеров влияют отрегулированность технологии содержания, кормления, качество кормов, соблюдение плана вакцинации, поддержание оптимальных параметров микроклимата и другие параметры, нарушение которых ведет к стрессу у птицы. Стрессы у птицы ведут к развитию вторичных иммунодефицитов, на фоне которых могут развиваться любые патологические процессы любого генеза – незаразного и заразного [1–15].

Профилактика стрессов и вторичных иммунодефицитов является основной задачей практической ветеринарии в условиях промышленного птицеводства. Для профилактики этих состояний

в арсенале ветврачей птицефабрик имеются комплекс витаминов, минеральные кормовые добавки, разнообразные энтеросорбенты, позволяющие снизить микроинтоксикацию и готовые комбикорма. Введение в рацион различных добавок повышает нагрузку на сотрудников, для контроля за раздачей этих добавок. Поиск новых добавок также требует дополнительного внимания ветеринарных специалистов. Поэтому необходим поиск таких добавок, которые позволят осуществить многонаправленное действие при использовании одной добавки. Кроме того, добавка должна иметь удобное введение в рацион и не препятствовать технологической вакцинации и другим обработкам птицы.

В связи с этим цель наших исследований – сравнить эффективность кормовых добавок, приготовленных на основе торфосапропелевого концентрата.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- оценить профилактическую эффективность кормовых добавок на основе торфосапропелевого концентрата (ТСК) и сохранность поголовья бройлеров,
- определить причины заболеваемости и падежа бройлеров при введении в рацион разных кормовых добавок на основе ТСК,
- определить эффективность откорма бройлеров при введении в рацион разных кормовых добавок на основе ТСК,
- определить экономическую эффективность при введении в рацион разных кормовых добавок на основе ТСК.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в условиях одного из птицеводческих хозяйств мясного направления, на

кафедре инфекционной и незаразной патологии Уральского государственного аграрного университета. Исследования проводили на цыплятах-бройлерах кросса Arbor Acres, было подобрано 4 группы по принципу аналогов по 2000 голов в каждой, содержание цыплят в одном помещении в клетках на одном уровне. Поение цыплят в группах из nippleных поилок вволю. Контроль параметров микроклимата осуществлялся автоматически. Схема опыта представлена в таблице 1.

В качестве испытуемых кормовых добавок использовали ТСК в жидкой форме под торговым названием «Гувит», ТСК, обогащенный пробиотиком *Bacillus subtilis* в жидкой форме, под торговым названием «Фитовит» и ТСК в смеси с природным цеолитом диатомитом в порошкообразной форме под торговым названием «Фитовит». Все исследуемые кормовые добавки содержат микроэлементы в разных соотношениях, витамины, аминокислоты, гуминовые кислоты и другие биологически активные вещества. Добавки обладают сорбционными свойствами в разной степени выраженности. Введение в рацион осуществляется разными способами.

В процессе исследования ежедневно проводили клинический осмотр цыплят и определяли динамику внешних проявлений заболеваний, если такие встречались, и убивали павшую птицу, которую подвергали тщательному внешнему осмотру и патологоанатомическому вскрытию для определения причины падежа. При этом ежедневный контроль микроклимата и его показатели соотносили с выявленными патологоанатомическими изменениями внутренних органов бройлеров. Кроме того, проводились гистологические исследования проб внутренних органов, по общепринятым методикам.

Таблица 1
Схема научных исследований на бройлерах кросса Arbor Acres

Группы	Схема кормления
Контрольная, n = 2000	Контроль, кормление и минерально-витаминные добавки по схеме хозяйства
1-я опытная, n = 2000	Кормление по схеме хозяйства, с кормом ТСК в смеси с диатомитом, «Дигувит» с 1 по 42 дни откорма в дозе 2 г/кг корма
2-я опытная, n = 2000	Кормление по схеме хозяйства, жидкий ТСК «Гувит» с 1 по 42 дни откорма в дозе 2 л/м ³ питьевой воды, за исключением дней вакцинации
3-я опытная, n = 2000	Кормление по схеме хозяйства, жидкий ТСК, обогащенный пробиотиком, «Фитовит» с 1 по 42 дни откорма в дозе 2 л/м ³ питьевой воды, за исключением дней вакцинации

Table 1
Scheme of scientific research on cross broilers Arbor Acres

Groups	Feeding scheme
Control, n = 2000	Control, feeding and mineral and vitamin supplements according to the farm scheme
1 st experienced, n = 2000	Feeding according to the farm scheme, with peat sapropel concentrate mixed with diatomite, "Diguvit" from the 1 st to the 42 nd days of fattening in a dose of 2 g/kg of feed
2 nd experienced, n = 2000	Feeding according to the farm scheme, liquid peat sapropel concentrate "Guvit" from the 1 st to the 42 nd days of fattening in a dose of 2 l/m ³ of drinking water, except for vaccination days
3 rd experienced, n = 2000	Feeding according to the farm scheme, liquid peat sapropel concentrate enriched with probiotic, "Fitovit" from the 1 st to the 42 nd days of fattening in a dose of 2 l/m ³ of drinking water, except for vaccination days

Контроль набора массы тела цыплят контролировали путем случайного взвешивания каждые 7 дней по 50 голов из группы (по 25 голов петушков и курочек). За весь период исследования проводили анализ заболеваемости, падежа цыплят и сохранность поголовья. Полученные цифровые данные подвергались статистической обработке.

Результаты (Results)

В результате контроля живой массы были отмечены следующие изменения (таблица 2).

Полученные результаты представлены в таблице 2, из которой видно, что применение испытываемых кормовых добавок стимулировало рост в течение всего периода наблюдения, но особенно выражен ростостимулирующий эффект в последние две недели откорма. Органо-пробиотическая кормовая добавка «Фитовит» по динамике прироста живой массы цыплят несколько уступает минеральной кормовой добавке, но, учитывая тот факт, что она выпаивалась в свободные от вакцинации дни, при

возможности дачи этого препарата на постоянной основе эффект по конверсии корма и качеству иммунопрофилактики, вероятно, мог быть выше (рис. 1).

В связи с этим остается возможность совершенствования формы выпуска и способа скармливания данной кормовой добавки для птиц.

Анализ качества откорма показал, что при введении в рацион испытываемых кормовых добавок в конце откорма бройлеры всех опытных групп опережали цыплят контрольной группы. В период откорма потребление воды было одинаковым. В период проведения исследования были некоторые нарушения в работе вентиляции и небольшое повышение концентрации аммиака и сероводорода. Вспышек инфекционных заболеваний не регистрировали, уровень поствакцинальных антител находился на достаточном уровне, исследования на сальмонеллез отрицательны, т. е. инфекционное начало было исключено.

Таблица 2
Динамика прироста живой массы у бройлеров в период откорма

Дни исследования	Контрольная группа, кг, n = 50	1-я опытная «Дигувит», кг, n = 50	%	2-я опытная «Гувит», кг, n = 50	%	3-я опытная «Фитовит», кг, n = 50	%
1-й день	0,045 ± 0,003	0,045 ± 0,003	0	0,045 ± 0,003	0	0,045 ± 0,003	0
7-й день	0,181 ± 0,013	0,190 ± 0,005	5	0,197 ± 0,008	8,8	0,189 ± 0,004	4,4
14-й день	0,467 ± 0,023	0,536 ± 0,009	14,8	0,531 ± 0,018	13,7	0,520 ± 0,013	11,3
21-й день	0,801 ± 0,010	0,957 ± 0,009*	19,5	0,909 ± 0,011	13,5	0,813 ± 0,012	1,5
28-й день	1,264 ± 0,012	1,345 ± 0,005	6,4	1,326 ± 0,016	4,9	1,404 ± 0,004	11,1
35-й день	1,439 ± 0,024	1,818 ± 0,003**	26,3	1,861 ± 0,005**	29,3	1,535 ± 0,003	6,7
42-й день	1,848 ± 0,015	2,202 ± 0,003*	19,2	2,238 ± 0,003*	21,1	2,177 ± 0,003*	17,8

Примечание. *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01.

Table 2
Dynamics of live weight gain in broilers during the fattening period

Research days	Control group, kg, n = 50	1 st experimental group "Diguvit", kg, n = 50	%	2 nd experimental group "Guvit", kg, n = 50	%	3 rd experimental group "Fitovit", kg, n = 50	%
1 st day	0.045 ± 0.003	0.045 ± 0.003	0	0.045 ± 0.003	0	0.045 ± 0.003	0
7 th day	0.181 ± 0.013	0.190 ± 0.005	5	0.197 ± 0.008	8.8	0.189 ± 0.004	4.4
14 th day	0.467 ± 0.023	0.536 ± 0.009	14.8	0.531 ± 0.018	13.7	0.520 ± 0.013	11.3
21 st day	0.801 ± 0.010	0.957 ± 0.009*	19.5	0.909 ± 0.011	13.5	0.813 ± 0.012	1.5
28 th day	1.264 ± 0.012	1.345 ± 0.005	6.4	1.326 ± 0.016	4.9	1.404 ± 0.004	11.1
35 th day	1.439 ± 0.024	1.818 ± 0.003**	26.3	1.861 ± 0.005**	29.3	1.535 ± 0.003	6.7
42 nd day	1.848 ± 0.015	2.202 ± 0.003*	19.2	2.238 ± 0.003*	21.1	2.177 ± 0.003*	17.8

Note. *P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01.

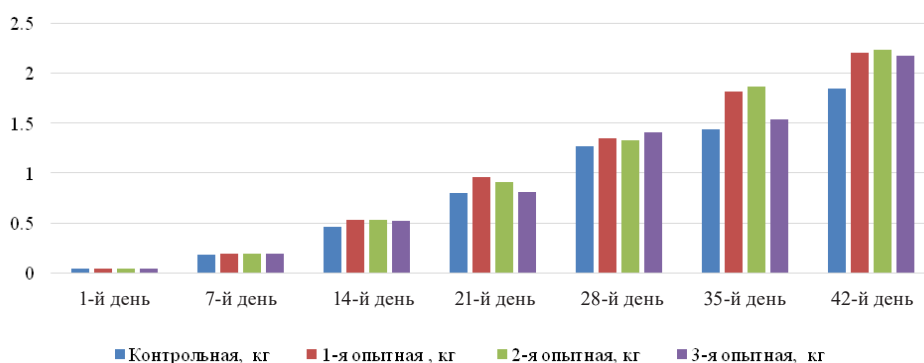


Рис. 1. Динамика прироста живой массы бройлеров по группам

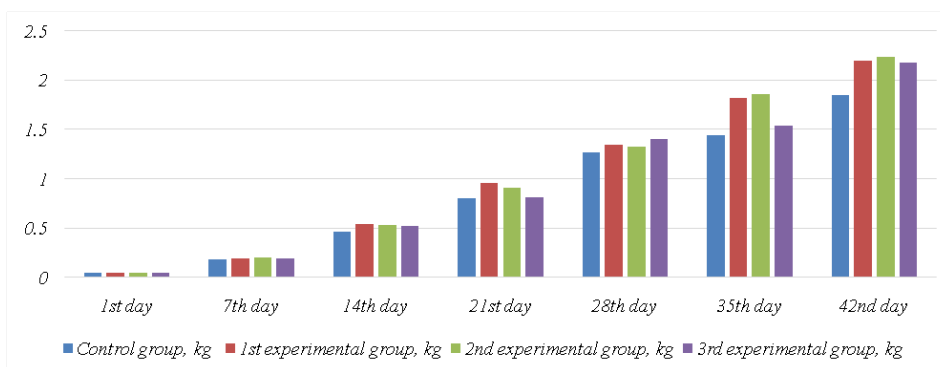


Fig. 1. Dynamics of live weight gain of broilers by groups

Таблица 3

Причины падежа и сохранность поголовья бройлеров в группах

Причины падежа	Группы							
	Контроль- ная, гол., n = 2000	%	1-я опыт- ная, гол., n = 2000	%	2-я опыт- ная, гол., n = 2000	%	3-я опыт- ная, гол., n = 2000	%
Аэросаккуллит	30	1,5	12	0,6	3	0,15	22	1,1
Асфиксия	26	1,3	5	0,25	11	0,55	70	3,5
Болезни органов дыхания недифференцированные	35	1,75	15	0,95	6	0,3	5	0,25
Гепатит	76	3,8	1	0,05	1	0,05	1	0,05
Перитонит	18	0,9	2	0,1	1	0,05	1	0,05
Болезни органов пищева- рения недифференциро- ванные	45	2,25	35	1,75	30	1,5	17	0,85
Дистрофия	40	2	3	0,15	3	0,15	1	0,05
Обезвоживание	17	0,85	8	0,4	3	0,15	2	0,1
Колибактериоз	23	1,15	5	0,25	3	0,15	11	0,55
Всего пало	310	15,5	86	4,3	61	3,05	130	6,5
Сохранность, %	—	84,5	—	95,7	—	97	—	93,5

Table 3

Causes of death and safety of broiler livestock in groups

Causes of the death	Groups							
	Control group, heads, n = 2000	%	1 st ex- perimental group, heads, n = 2000	%	2 nd ex- perimental group, heads, n = 2000	%	3 rd ex- perimental group, heads, n = 2000	%
<i>Aerosacullite</i>	30	1.5	12	0.6	3	0.15	22	1.1
<i>Asphyxia</i>	26	1.3	5	0.25	11	0.55	70	3.5
<i>Respiratory diseases undifferentiated</i>	35	1.75	15	0.95	6	0.3	5	0.25
<i>Hepatitis</i>	76	3.8	1	0.05	1	0.05	1	0.05
<i>Peritonitis</i>	18	0.9	2	0.1	1	0.05	1	0.05
<i>Diseases of the digestive system undifferentiated</i>	45	2.25	35	1.75	30	1.5	17	0.85
<i>Dystrophy</i>	40	2	3	0.15	3	0.15	1	0.05
<i>Dehydration</i>	17	0.85	8	0.4	3	0.15	2	0.1
<i>Colibacteriosis</i>	23	1.15	5	0.25	3	0.15	11	0.55
All died	310	15.5	86	4.3	61	3.05	130	6.5
Safety, %	—	84.5	—	95.7	—	97	—	93.5

В контрольной группе встречались цыплята, «сидящие» на одном месте, в этой группе отмечали большее количество павших цыплят с признаками дистрофии и большее количество трупов с признаками обезвоживания.

При вскрытии трупов цыплят с признаками обезвоживания и дистрофии отмечали дегенеративно-

дистрофические изменения в тазобедренных суставах и хрящевой ткани головки головки бедренной кости на макро- и микроскопическом уровне. У цыплят без патологии опорно-двигательной системы хрящ не имел макроскопических признаков дистрофии и дегенерации.

При анализе структуры причин падежа (рис. 2) видно, что практически все из использованных кормовых добавок снижают развитие патологических состояний, заканчивающихся гибелью птицы. При введении в рацион ТСК, обогащенного пробиотиком («Фитовит»), видно, что падеж по причине заболеваний, связанных с поражением желудочно-кишечного тракта, ниже, так как кормовая добавка усилена пробиотиком, обладающим местным протективным действием, и минимально снижает восприимчивость органов дыхания к неблагоприятным факторам внешней среды, связанным с нарушениями микроклимата. При исследовании пораженных органов дыхания у цыплят контрольной группы патологические изменения имели более глубокие поражения, в то время как у цыплят из опытных групп изменения менее выражены, без глубоких морфологических изменений (в легких и трахее).

Кормовые добавки на основе чистого ТСК («Гувит») и комплексной добавки ТСК в смеси с диатомитом («Дигувит») значительно снижают заболеваемость и падеж при нарушениях параметров микроклимата, минимизируют проблемы обменного характера, связанные с поражением печени и дистрофией бройлеров, что, вероятно связано с органо- и иммунопротективным действием добавок. Поскольку добавки содержат минеральные компоненты, это способствует физиологичному развитию

опорно-двигательной системы, что предотвращает нарушение двигательной активности и способствует потреблению корма.

Изменения со стороны печени у птиц контрольной группы в период убоя на 42-й день имели больший процент выбраковки по данным ветеринарно-санитарной экспертизы потрошков.

В первой опытной группе сохранность поголовья цыплят в период исследования повысилась на 11,2 %, во второй опытной группе – на 12,5 %, а в третьей группе – на 9,0 %. (рис. 3)

Показатели сохранности поголовья птицы в период роста и откорма показали, что использование кормовых добавок на основе отечественных природных ископаемых, обладающих энтеросорбционными свойствами, богатых минеральными и биологически активными веществами, обеспечивает иммунопрофилактическое их действие и способствует снижению заболеваемости и падежа цыплят-бройлеров. Сохранность поголовья прямо влияет и на экономическую эффективность их использования.

Недостатком жидких кормовых добавок является ограничение в их использовании, связанное с отсутствием возможности ежедневного применения при вакцинопрофилактике, проводимой выпойкой вакцин с водой. Кроме того, есть вероятность засорения водоводов, что потребует дополнительных трудозатрат на обслуживание системы водоснабжения.

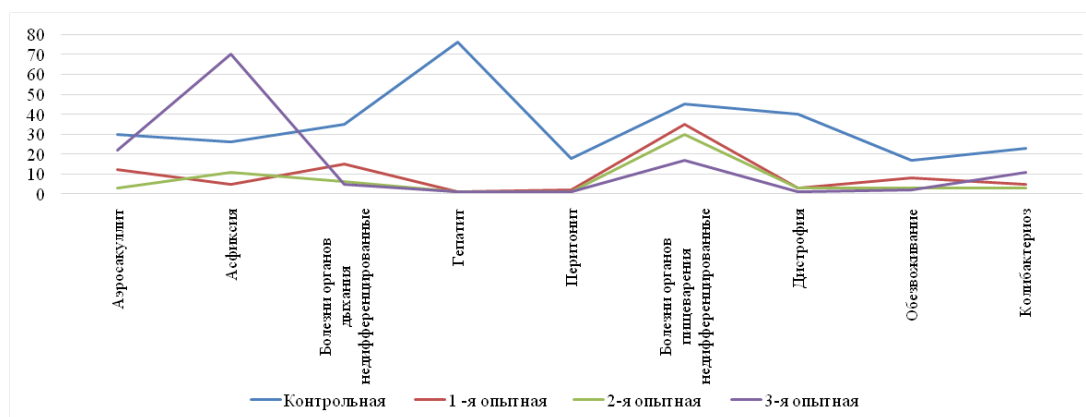


Рис. 2. Причины падежа по группам в период откорма

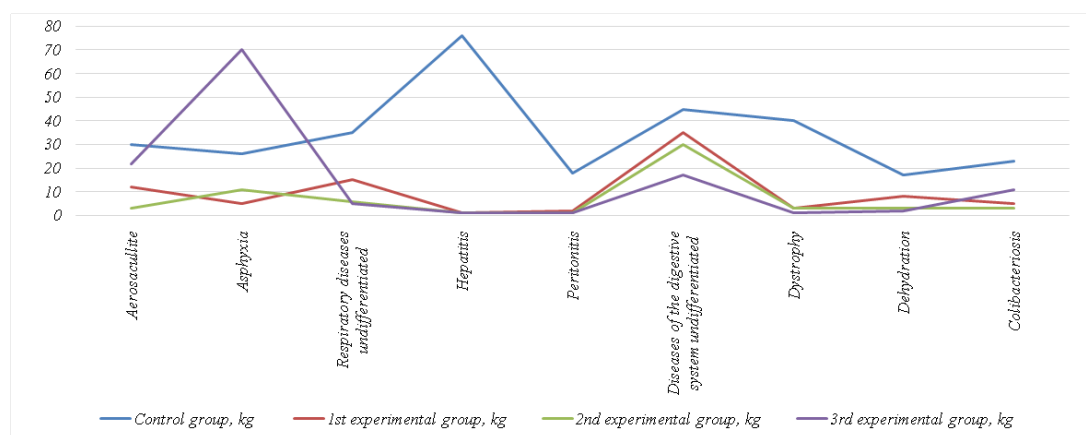


Fig. 2. Causes of the death by groups during the fattening period

Применение испытанных кормовых добавок при использовании ТСК в смеси с диатомитом в порошкообразной форме («Дигувит») максимально упрощает процесс раздачи добавки, позволяет вводить ее равномерно на протяжении всего периода откорма, перемешивая с основным кормом.

В перспективе возможно приготовление специального комбикорма с использованием данной кормовой добавки. Качество откорма и возможность профилактики технологических стрессов, иммунодефицитных состояний – основы патологических процессов и заболеваний у бройлеров – делает такие кормовые добавки эффективным средством профилактики и экономической целесообразности их использования в отечественном птицеводстве.

Результаты анализа экономической эффективности использования отечественных кормовых добавок, обладающих свойствами адаптогена в профилактике иммунодефицитных состояний и различных заболеваний у бройлеров, приведены в таблице 4, из данных которой видно, что применение в процессе выращивания бройлеров всех испытываемых кормовых добавок рентабельно и приносит дополнительную прибыль.

Наиболее высокая экономическая эффективность выявлена при назначении кормовой добавки «Гувит», затем в рейтинге рентабельности следует отметить «Фитовит» и «Дигувит».

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты проведенного анализа литературных данных о применении кормовых добавок, производимых в Свердловской области, показали целесообразность их использования в птицеводстве с целью нивелирования факторов, оказывающих вредное влияние на обмен веществ и иммунную систему птицы.

Введенные в рацион бройлеров разные группы кормовых добавок на основе ТСК выполняют функцию энтеросорбента, являются источником макро- и микроэлементов, а также обладают иммуно- и органопротективным действием. При этом энтеросорбционный эффект направлен на удаление эндо- и экзотоксинов из организма птицы, а содержащиеся минеральные вещества необходимы для возмещения необходимых элементов на основе ионообменного механизма. Основная масса минералов имеет большое значение в поддержании естественной резистентности, стимуляции процессов эритро- и лейкопоэза, а также в поддержании гомеостаза в организме в целом.

Все проведенные макро- и микроморфологические исследования дали возможность отследить морфологические изменения, развивающиеся в организме цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres на протяжении всего технологического цикла. Гистологические исследования скелетной мускулатуры, сердца, печени показали, что структура клеток организма птиц при скармливании испытываемых кормовых добавок способствуют сохранению их структуры и функции, соответственно, стабилизируется обмен веществ, повышается естественная резистентность при сбалансированном обмене веществ. При гистологическом исследовании выявлено выраженное протективное влияние кормовых добавок на микроструктуру контактного органа – кишечной стенки. Помимо этого, в результате скармливания кормовых добавок формируется полноценная хрящевая ткань, укрепляется костный каркас, птица способна перемещаться и потреблять корм. Это способствует увеличению живой массы бройлеров.

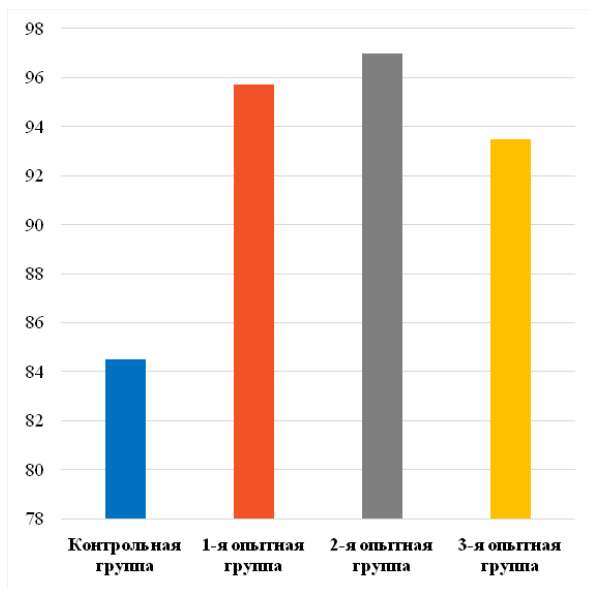


Рис. 3. Сохранность поголовья по группам в период выращивания, %

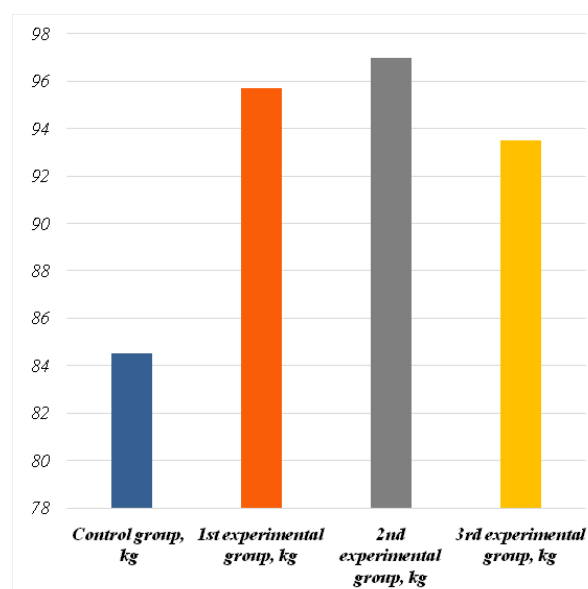


Fig. 3. Safety of livestock by groups during the growing period, %

Экономическая эффективность при использовании кормовых добавок в рационе бройлеров

Показатели	Контрольная группа	Опытные группы		
		1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная
Количество цыплят в конце выращивания	1690	1914	1939	1870
Доп. затраты на выращивание, руб.	–	5 008,00	19 416,00	47 160,00
Доп. прибыль, руб.	–	50 646,00	514 740,00	500 710,00
Экономическая эффективность на 1 рубль затрат в ценах 2020 г.	–	10,11	26,51	10,62

Table 4

Economic efficiency when using feed additives in the broiler diet

Indicators	Control group	Groups		
		1 st experimental	2 nd experimental	3 rd experimental
Number of chickens at the end of cultivation	1690	1914	1939	1870
Additional costs for cultivation, rubles	–	5 008.00	19 416.00	47 160.00
Additional profit, rubles	–	50 646.00	514 740.00	500 710.00
Economic efficiency per 1 ruble of costs in 2020 prices	–	10.11	26.51	10.62

Проведя анализ полученных данных, можно сделать заключение, что в промышленном птицеводстве снижение эффективности производства продукции птицеводства зависит не только от наличия или отсутствия вакцинаций, их количества, но также от нарушений параметров микроклимата и качества комбикорма, степени его поражения микотоксинами, солями тяжелых металлов и другими вредными веществами, т. е. любые нарушения ведут к стрессу птицы, который приводит к развитию вторичного иммунодефицитного состояния, что согласуется с ранее проведенными исследованиями [3; 4].

У птицы явных клинических проявлений вторичных иммунодефицитных состояний нет, но появление вторичных инфекций типа колибактериоза и аэросакуллита, связанного с нарушениями газообмена в птичнике, являются признаками иммунодефицитного состояния у бройлеров [3; 6]. Это дало возможность оценить эффективность использования отечественных кормовых добавок как средств профилактики внешних стресс-факторов в промышленном птицеводстве.

Проведенные исследования по оценке протективной эффективности отечественных кормовых добавок показали синхронные свойства, что позволяет считать их средствами, повышающими резистентность организма в целом и обладающими выраженными органопротективными свойствами.

При анализе полученных результатов исследования можно констатировать, что все из использованных кормовых добавок позитивно влияют на откорм бройлеров, повышают конверсию корма, увеличивают сохранность поголовья цыплят.

Все исследованные отечественные кормовые добавки повышают эффективность усвоения корма и результаты откорма при значительном снижении падежа цыплят. Особенностью кормовой добавки

на основе торфо-сапропелевого концентрата, обогащенного пробиотиком *Vacillus subtilis*, явилось выраженное локальное протективное действие на месте соприкосновения со слизистой оболочкой органов пищеварения и минимальное – в других внутренних органах, в частности в органах дыхания.

Представленные результаты исследований подтверждают актуальность концепции кормления, в основе которой лежит признание постоянного наличия факторов риска и, соответственно, постоянного нивелирования их действия с помощью кормовых добавок. При этом постоянное применение отечественных кормовых добавок из природных ископаемых не оказывает вредного влияния на организм птицы, оптимизирует обмен веществ и иммунную систему, активизирует рост и снижает заболеваемость, повышает конверсию корма и качество получаемой продукции. Использование испытываемых кормовых добавок снижает риск возникновения заболевания суставов и опорно-двигательного аппарата в целом и оказывает органопротективное действие.

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

1. Кормовые добавки на основе ТСК «Дигувит», «Гувит» и «Фитовит» оказывают выраженный профилактический эффект при технологическом и других видах стресса, сопровождающихся развитием вторичных иммунодефицитных состояний у бройлеров.

2. При использовании отечественных кормовых добавок, приготовленных на основе ТСК, повышают сохранность поголовья «Дигувит» на 11,2 %, «Гувит» на – 12,5 %, а «Фитовит» на – 9 %.

3. Основными причинами заболеваемости и падежа бройлеров являются нарушения обменных процессов в организме, нарушения параметров микроклимата и качество кормов.

4. Эффективность откорма при использовании кормовых добавок проявилась в увеличении живой массы от «Дигувита» на 354 г, «Гувита» – на 390 г, «Фитовита» – на 329 г.

5. Экономическая эффективность на 1 рубль затрат в ценах 2020 г. при использовании «Дигувита» составила 10,11 рубля, «Гувита» – 26,51 рубля, «Фитовита» – 10,62 рубля.

Полученные результаты показали, что кормовые добавки, произведенные в Свердловской области («Дигувит», «Гувит», «Фитовит»), – это продукты,

которые обладают высокой биологической активностью, безопасны для птицы и человека. Отмеченная высокая экономическая эффективность их применения устраняет финансовые ограничения постоянного применения метаболических и иммунных корректоров, что имеет особое значение в технологиях органического птицеводства, в регионах со сравнительно высоким уровнем экологических рисков. Таким образом, для кормовых добавок, произведенных в Свердловской области, имеются все основания быть востребованными птицеводческими хозяйствами России и других стран.

Библиографический список

1. Loretts O. G., Donnik I. M., Bykova O. A., Neverova O. P., Gumenyuk O. A., Shakirova S. S., Meshcheriakova G. V. Nonspecific resistance of broilers on the background of application of a herbal complex of biologically active compounds under the conditions of industrial technology // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9. No. 6. Pp. 1679–1687.
2. Беспамятных Е. Н., Кривоногова А. С., Донник И. М., Исаева А. Г. Подходы к коррекции иммунобиологического профиля животных // *Ветеринария Кубани*. 2018. № 5. С. 10–13.
3. Donnik I. M., Loretts O. G., Barashkin M. I., Sadovnikov N. V., Shusharin A. D., Elesin A. V., Semenova N. N. Reviewing the influence of copper, lead and zinc accumulation on the morphofunctional liver and kidney state in broiler chickens under experimental toxicosis // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9. No. 6. Pp. 859–873.
4. Красочко П. А., Холод В. М., Шабунин С. В. [и др.] Прикладные аспекты иммуномодуляции с использованием средств природного происхождения. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2021. 398 с.
5. Шацких Е. В. Переваримость и использование питательных веществ корма бройлерами при введении в предстартовый рацион различных форм соединений йода // *Фундаментальные и прикладные аспекты ветеринарной медицины на границе веков: сборник материалов международной конференции, посвященной 100-летию СибНИВИ-ВНИИБТЖ*. Омск, 2021. С. 376–381.
6. Cecchini S., Rossetti M., Caputo A., Bavoso A. Effect of dietary inclusion of a commercial polyherbal Formulation on some physiological and immune parameters in healthy and stressed hens [e-resource] // *Czech Journal of Animal Science*. 2019. No. 64. Pp. 448–458. URL: https://www.agriculturejournals.cz/web/cjas.htm?type=article&id=189_2019-CJAS (date of reference: 12.12.2020). DOI: 10.17221/189/2019-CJAS.
7. Луговых Т. А., Шацких Е. В. Сорбционные препараты в кормлении птицы // *Инновационные технологии в аграрном производстве: материалы межрегиональной научно-практической конференции*. Екатеринбург, 2020. С. 82–84.
8. Галиев Д. М., Шацких Е. В. Влияние кормовой добавки БШ на мясную продуктивность цыплят-бройлеров // *Производство племенной продукции (материала) по направлениям отечественного племенного животноводства на основе ускоренной селекции: сборник материалов международной научно-практической конференции «Стратегические задачи по научно-технологическому развитию АПК»*. Екатеринбург, 2018. С. 33–37.
9. Дрозд М. Н. Эффективность минерального адаптогена в условиях экспериментальной иммуносупрессии // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 12 (215). С. 29–40. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-29-40.
10. Кундрюкова У. И., Дроздова Л. И. Ветеринарно-санитарная и морфологическая оценка мускулатуры бедренной и грудной групп мышц цыплят-бройлеров с низшей категорией упитанности // *Научная жизнь*. 2018. № 12. С. 222–231.
11. Шацких Е. В., Галиев Д. М. Минеральный сорбент в комбикормах для цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. 2018. № 11-12. С. 45–49.
12. Царегородцева А. Е., Валамина И. Е., Усевич В. М. Морфофункциональные характеристики иммунной системы при индуцированной иммуносупрессии в эксперименте // *Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: сборник статей IV Международной (74-й Всероссийской) научно-практической конференции*. Екатеринбург, 2019. С. 1192–1196.
13. Шацких Е. В., Нуфер А. И., Галиев Д. М. Натуральные альтернативные стимуляторы роста и их влияние на продуктивность цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. 2020. № 1. С. 31–36.

14. Галиев Д. М., Шацких Е. В. Морфогистологическое состояние печени цыплят-бройлеров при использовании кормовой добавки БШ [Электронный ресурс] // Вестник биотехнологии. 2019. № 2 (19). URL: http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/154 (дата обращения: 17.02.2022).

15. Shatskikh E. V., Korolkova-Subbotkina D. E., Galiev D. M. The influence of biologically active additives on the morpho-biochemical parameters of the blood of broiler chickens // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 04 (207). Pp. 93–98.

Об авторах:

Марья Николаевна Дрозд¹, старший преподаватель кафедры инфекционной и незаразной патологии, ORCID 0000-0001-2345-6789, AuthorID 843196; +7 904 542-58-23, umn100@yandex.ru

Вера Михайловна Усевич¹, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры инфекционной и незаразной патологии, ORCID 0000-0002-538992-77, AuthorID 654193; +7 904 542-52-25, vus5@yandex.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Comparative evaluation of the effectiveness of feed additives based on peat sapropel concentrate in the cultivation of broilers

M. N. Drozd¹, V. M. Usevich¹✉

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: vus5@yandex.ru

Abstract. Modern conditions for the development of poultry farming increase the impact of technological stress on the poultry body, which contributes to the development of immunodeficiency conditions in them. Against the background of immunodeficiency, diseases of various etiologies develop, which reduces the efficiency of the industry. To offset the negative result of technological and other types of stress, the search for effective means of domestic production is carried out, which is especially important in the conditions of priority use of alternative import-substituting means. The search for effective means that meet all the requirements of prevention remains to this day an urgent issue of practical veterinary medicine. Feed additives with a wide spectrum of action act as such agents. Often such feed additives act as adaptogens. In this regard, **the purpose** of this study was to compare the effectiveness of feed additives prepared on the basis of peat sapropel concentrate mixed with known mineral and probiotic components. The objectives of the study were: to evaluate the effectiveness of disease prevention; causes of morbidity and mortality; livestock safety and improving the quality of fattening. **Methods.** To assess the effectiveness of the tested domestic feed additives, clinical, pathomorphological, histological studies were carried out in accordance with the zoohygenic conditions of poultry keeping and statistical methods for evaluating the results obtained. As a **result** of the conducted studies on the preventive feeding of feed additives based on peat sapropel concentrate of domestic production, their immuno- and organoprotective effect was revealed. **Scientific novelty.** For the first time, a comparative assessment of various feed additives based on peat-sapropel concentrate for the prevention of stress, various diseases, livestock safety and live weight gain of broilers at macro- and microscopic levels was carried out.

Keywords: stress, immunodeficiency, prevention, adaptogens, histology, feed additives.

For citation: Drozd M. N., Usevich V. M. Sravnitel'naya otsenka effektivnosti kormovykh dobavok na osnove torfosapropelovogo konsentrata pri vyrashchivanii broylerov [Comparative evaluation of the effectiveness of feed additives based on peat sapropel concentrate in the cultivation of broilers] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 83–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-83-92. (In Russian.)

Date of paper submission: 01.03.2023, **date of review:** 03.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

References

1. Loretts O. G., Donnik I. M., Bykova O. A., Neverova O. P., Gumenyuk O. A., Shakirova S. S., Meshcheriakova G. V. Nonspecific resistance of broilers on the background of application of a herbal complex of biologically active compounds under the conditions of industrial technology // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. No. 6. Pp. 1679–1687.

2. Bespamyatnykh E. N., Krivonogova A. S., Donnik I. M., Isaeva A. G. Podkhody k korrektsii immunobiologicheskogo profilya zhyvotnykh [Approaches to correction of the immunobiological profile of animals] // Veterinariya Kubani. 2018. No. 5. Pp. 10–13. (In Russian.)
3. Donnik I. M., Loretts O. G., Barashkin M. I., Sadovnikov N. V., Shusharin A. D., Elesin A. V., Semenova N. N. Reviewing the influence of copper, lead and zinc accumulation on the morphofunctional liver and kidney state in broiler chickens under experimental toxicosis // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. No. 6. Pp. 859–873.
4. Krasochko P. A., Kholod V. M., Shabunin S. V. et al. Prikladnye aspekty immunomodulyatsii s ispol'zovaniem sredstv prirodnoho proiskhozhdeniya [Applied aspects of immunomodulation using natural products]. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni I. T. Trubilina, 2021. 398 p. (In Russian.)
5. Shatskikh E. V. Perevarimost' i ispol'zovanie pitatel'nykh veshchestv korma broylerami pri vvedenii v predstartovyy ratsion razlichnykh form soedineniy yoda [Digestibility and use of feed nutrients by broilers when introducing various forms of iodine compounds into the pre-start diet] // Fundamental'nye i prikladnye aspekty veterinarnoy meditsiny na granitse vekov: sbornik materialov mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu SibNIVI-VNIIBTZh. Omsk, 2021. Pp. 376–381. (In Russian.)
6. Cecchini S., Rossetti M., Caputo A., Bavoso A. Effect of dietary inclusion of a commercial polyherbal Formulation on some physiological and immune parameters in healthy and stressed hens [e-resource] // Czech Journal of Animal Science. 2019. No. 64. Pp. 448–458. URL: https://www.agriculturejournals.cz/web/cjas.htm?type=article&id=189_2019-CJAS (date of reference: 12.12.2020). DOI: 10.17221/189/2019-CJAS.
7. Lugovykh T. A., Shatskikh E. V. Sorbtionnye preparaty v kormlenii ptitsy [Sorbtion preparations in poultry feeding] // Innovatsionnye tekhnologii v agrarnom proizvodstve: materialy Mezhtselektse'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg, 2020. Pp. 82–84. (In Russian.)
8. Galiev D. M., Shatskikh E. V. Vliyanie kormovoy dobavki BSh na myasnuyu produktivnost' tsyplyat-broylerov [The effect of the feed additive BS on the meat productivity of broiler chickens] // Proizvodstvo plemennoy produktsii (materiala) po napravleniyam otechestvennogo plemennogo zhyvotnovodstva na osnove uskorennoy selektsii: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Strategicheskie zadachi po nauchnotekhnologicheskomu razvitiyu APK". Ekaterinburg, 2018. Pp. 33–37. (In Russian.)
9. Drozd M. N. Effektivnost' mineral'nogo adaptogena v usloviyakh eksperimental'noy immunosupressii [The effectiveness of mineral adaptogen in experimental immunosuppression] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 12 (215). Pp. 29–40. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-29-40. (In Russian.)
10. Kundryukova U. I., Drozdova L. I. Veterinarno-sanitarnaya i morfologicheskaya otsenka muskulatury bedrennoy i grudnoy grupp myshts tsyplyat-broylerov s nizshey kategoriei upitannosti [Veterinary-sanitary and morphological assessment of the muscles of the femoral and pectoral muscle groups of broiler chickens with the lowest category of fatness] // Nauchnaya zhizn'. 2018. No. 12. Pp. 222–231. (In Russian.)
11. Shatskikh E. V., Galiev D. M. Mineral'nyy sorbent v kombikormakh dlya tsyplyat-broylerov [Mineral sorbent in mixed feeds for broiler chickens] // Ptitsevodstvo. 2018. No. 11–12. Pp. 45–49. (In Russian.)
12. Tsaregorodtseva A. E., Valamina I. E., Usevich V. M. Morfo-funktsional'nye kharakteristiki immunnyy sistemy pri indutsirovannoy immunosupressii v eksperimente [Morphofunctional characteristics of the immune system in induced immunosuppression in an experiment] // Aktual'nye voprosy sovremennoy meditsinskoy nauki i zdavookhraneniya: sbornik statey IV Mezhdunarodnoy (74 Vserossiyskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg, 2019. Pp. 1192–1196. (In Russian.)
13. Shatskikh E. V., Nufer A. I., Galiev D. M. Natural'nye al'ternativnye stimulyatory rosta i ikh vliyanie na produktivnost' tsyplyat-broylerov [Natural alternative growth stimulants and their effect on the productivity of broiler chickens] // Ptitsevodstvo. 2020. No. 1. Pp. 31–36. (In Russian.)
14. Galiev D. M., Shatskikh E. V. Morfogistologicheskoe sostoyanie pecheni tsyplyat-broylerov pri ispol'zovanii kormovoy dobavki BSh [Morphohistological state of the liver of broiler chickens when using the feed additive WSh] [e-resource] // Bulletin of biotechnology. 2019. No. 2 (19). URL: http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/154 (date of reference: 17.02.2022). (In Russian.)
15. Shatskikh E. V., Korolkova-Subbotkina D. E., Galiev D. M. The influence of biologically active additives on the morpho-biochemical parameters of the blood of broiler chickens // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 04 (207). Pp. 93–98.

Authors' information:

Marya N. Drozd¹, senior lecturer of the department of infectious and non-infectious pathology, ORCID 0000-0001-2345-6789, AuthorID 843196; +7 904 542-58-2, umn100@yandex.ru

Vera M. Usevich¹, candidate of veterinary sciences, associate professor of the department of infectious and non-infectious pathology, ORCID 0000-0002-538992-77, AuthorID 654193; +7 904 542-52-25, vus5@yandex.ru

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris L.*, *Narcissus L.*, *Paeonia L.*

А. А. Реут¹✉, С. Г. Денисова¹, Л. Ф. Бекшенева¹, И. Н. Аллаярова¹

¹ Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

✉ E-mail: cvetok.79@mail.ru

Аннотация. В современных условиях тяжелые металлы (ТМ) рассматриваются как основные загрязнители почв. С одной стороны, они необходимы для нормального протекания физиологических процессов, а с другой – при повышенных концентрациях являются токсичными. В связи с этим актуально изучение содержания ТМ в растительных объектах. **Целью** наших исследований было изучение аккумуляции и распределения элементов (As, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Fe, Cr) в наземной и подземной частях декоративных травянистых многолетников рода *Iris L.*, *Paeonia L.*, *Narcissus L.* **Объектами** исследований являлись наземные и подземные органы четырех видов рода *Iris L.* восьми сортов рода *Narcissus* и семи таксонов рода *Paeonia*. **Методы.** Изучение элементного состава наземной и подземной частей проводили по методике № М-02-1009-05 атомной спектроскопии. Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel. **Научная новизна.** Впервые для исследования взяты представители трех разных родовых комплексов. **Результаты.** Исследования показали, что в наземной части большинства изученных таксонов накапливается As в концентрациях, превышающих ПДК. Избыточное количество Cr, Cu, Ni, Pb отмечали в наземной части некоторых представителей ирисов и пионов. Содержание Cd, Fe и Mn у всех изучаемых таксонов находится в допустимых пределах. Выявлено, что показатели содержания большинства элементов характеризуются большой изменчивостью, что подтверждается результатами других исследователей. Отмечено, что у ирисов в больших количествах, чем в других таксонах, в наземной части аккумулируются As, Cr, Mn, Ni, а в подземной – Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, следовательно, их можно рекомендовать для использования в озеленении урбанизированных территорий.

Ключевые слова: ирис, нарцисс, пион, тяжелые металлы, аккумуляция.

Для цитирования: Реут А. А., Денисова С. Г., Бекшенева Л. Ф., Аллаярова И. Н. Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris L.*, *Narcissus L.*, *Paeonia L.* // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 93–104. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-93-104.

Дата поступления статьи: 20.02.2023, **дата рецензирования:** 14.03.2023, **дата принятия:** 03.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Значительной проблемой больших городов является загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ). Поступление ТМ в почвенный покров определяет их миграцию в грунтовые воды и доступность для растений [1, с. 47]. ТМ относятся к числу наиболее распространенных и опасных для биоты загрязнителей экологической среды [2, с. 183]. С одной стороны, они необходимы для нормального протекания физиологических процессов, а с другой – при повышенных концентрациях ТМ токсичны [3, с. 43; 4, с. 270; 5, с. 198]. Кроме того, содержание химических элементов в растительных объектах является

весьма вариабельным параметром. Оно подвержено воздействию большого количества одновременно действующих факторов: внутренние, кристаллохимические, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений; внутренние, биохимические факторы, определяемые биологическими особенностями конкретного вида; внешние, ландшафтно-геохимические факторы, определяемые условиями среды обитания; антропогенные [6, с. 281]. Исходя из этого актуально изучение закономерностей содержания, накопления и распределения максимально широкого спектра химических элементов в растениях и создание базы данных по их элементному

химическому составу. Декоративные цветочные культуры, которые прочно занимают свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения [7, с. 156; 8, с. 85]. Целью наших исследований было изучение аккумуляции и распределения элементов (As, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Fe, Cr) в надземной и подземной частях декоративных травянистых многолетников рода *Iris* L., *Paeonia* L., *Narcissus* L.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в вегетационный период 2020–2022 гг. на опытных участках лаборатории интродукции и селекции цветочных растений Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН), расположенного в юго-восточной части г. Уфы в междуречье рек Уфы и Сутолоки.

В качестве объектов исследования были использованы надземные и подземные органы некоторых представителей родов *Iris* L. (четыре вида); *Narcissus* L. (восемь сортов) и *Paeonia* L. (четыре вида и три сорта, интродуцированные и выращенные на базе ЮУБСИ УФИЦ РАН (таблица 1).

Изучение элементного состава растительных образцов проводили на базе аналитической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства в соответствии с методикой № М-02-1009-05 атомной спектроскопии [9, с. 81; 10, с. 144]. Для исследования были взяты надземные и подземные органы изучаемых объектов в соответствующие фазы развития (надземная – фаза цветения; подземная – конец вегетации). Корни очищали от

примесей, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде. Для количественного анализа сырье высушивали до воздушно-сухого состояния, затем измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм [11, с. 219].

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel [12].

Результаты (Results)

Биологическое значение мышьяка в клетках растительных организмов достаточно велико, так как он способен замещать фосфор при оксидоредукции, брожении, гликолизе, а также в процессе распада углеводов. Избыток мышьяка в растениях проявляется в увядании листьев и появлении фиолетовой окраски [13, с. 247].

Кадмий сравнительно легко поступает в растение из почвы в корневую систему, а также из атмосферы через листья. Основная причина токсичности кадмия – нарушение активности ферментов, транспирации, ингибирование фотосинтеза и биологического восстановления диоксида азота до оксида азота. Симптомами кадмиевого токсикоза у растений является задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев [13, с. 250].

Известно, что растительные организмы положительно реагируют на внесение хрома при низком содержании в почве доступной формы, но вопрос о незаменимости элемента для растений продолжает изучаться. Также не отмечены факты и не описаны внешние симптомы проявления его дефицита [13, с. 245].

Таблица 1
Краткие сведения об объектах исследования

Наименование рода	Виды	Сорта	Примечание
<i>Iris</i> L.	<i>I. orientalis</i> Mill. (касатик восточный)	–	Интродуцент
	<i>I. spuria</i> subsp. <i>carthaliniae</i> (Fomin) B. Mathew (касатик ложный карталинский)	–	Интродуцент
	<i>I. pseudacorus</i> L. (касатик ложноаирный)	–	Абореген
	<i>I. sibirica</i> L. (касатик сибирский)	–	Абореген
<i>Narcissus</i> L.	–	‘Actaea’, ‘Arctic Gold’, ‘Cassata’, ‘Quail’, ‘Sir Winston Churchill’, ‘White Lady’, ‘Calgary’, ‘Pink Parasol’	Интродуценты
<i>Paeonia</i> L.	<i>P. peregrina</i> Mill. (пион иноземный)	–	Интродуцент
	<i>P. lactiflora</i> f. <i>rosea</i> (пион молочнокветковый форма розовая)	–	Интродуцент
	<i>P. lactiflora</i> Pall. (пион молочнокветковый)	‘Аппассионата’, ‘Мустай Карим’, ‘Jeanne d’Arc’	Интродуценты
	<i>P. delavayi</i> Franch (пион Делавея)	–	Интродуцент

Table 1

Brief information about the objects of study

Genus name	Species	Varieties	Note
<i>Iris L.</i>	<i>I. orientalis Mill.</i>	–	Introducer
	<i>I. spuria subsp. carthaliniae (Fomin) B. Mathew</i>	–	Introducer
	<i>I. pseudacorus L.</i>	–	Native
	<i>I. sibirica L.</i>	–	Native
<i>Narcissus L.</i>	–	'Actaea', 'Arctic Gold', 'Cassata', 'Quail', 'Sir Winston Churchill', 'White Lady', 'Calgary', 'Pink Parasol'	Introducers
<i>Paeonia L.</i>	<i>P. peregrina Mill.</i>	–	Introducer
	<i>P. lactiflora f. rosea</i>	–	Introducer
	<i>P. lactiflora Pall.</i>	'Appassionata', 'Mustay Karim', 'Jeanne d'Arc'	Introducers
	<i>P. delavayi Franch</i>	–	Introducer

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации элементов в растительных объектах и почве

Элемент	ПДК или МДУ* в растительных объектах	ОДК** валовое или ПДК в почве
As (мышьяк)	0,50 мг/кг	2–10 мг/кг
Cd (кадмий)	1,0 мг/кг	2–5
Cr (хром)	0,5–1,0 мг/кг*	не разработано
Cu (медь)	20–30 мг/кг*	33–132
Fe (железо)	5–15 мг/кг	–
Mn (марганец)	25 мг/кг	1500–3000**
Ni (никель)	1–3 мг/кг*	20–80**
Pb (свинец)	6,0 мг/кг	32–130**

Примечание. ПДК – предельно допустимая концентрация; МДУ – максимально допустимый уровень; ОДК – ориентировочно допустимое валовое количество [14; 15, с. 95; 16, с. 58; 17; 18].

Table 2

Maximum allowable concentrations of elements in plant objects and soil

Element	MAC or MAL* in plant objects	AAG** amount gross or MAC in soil
As	0.50 mg/kg	2–10 mg/kg
Cd	1.0 mg/kg	2–5
Cr	0.5–1.0 mg/kg*	not developed
Cu	20–30 mg/kg*	33–132
Fe	5–15 mg/kg	–
Mn	25 mg/kg	1500–3000**
Ni	1–3 mg/kg*	20–80**
Pb	6.0 mg/kg	32–130**

Note. MAC – maximum allowable concentration; MAL – maximum allowable level; AAG – approximate allowable gross amount [14; 15, p. 95; 16, p. 58; 17; 18].

Железо сложно отнести к микроэлементам, так как его содержание в тканях растений достаточно высокое и потребность в нем самих растений тоже большая. Оно принимает участие в процессах дыхания и фотосинтеза. Недостаток железа проявляется в пожелтении листьев и снижении интенсивности окислительно-восстановительных процессов.

Медь, подобно железу, связана в клетках с ферментами и участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Также она активизирует витамины группы В и задерживает процесс физиологического старения. При ее дефиците наблюдаются некротические пятна на молодых листьях, заметна задержка роста и цветения, завядание и ранний листопад.

В растениях марганец накапливается в листьях и участвует в фотолизе воды. Кроме того, он входит в состав каталитического центра многих ферментов и способствует увеличению аскорбиновой кислоты в плодах и овощах. При резком недостатке марганца растения заболевают серой пятнистостью: на листьях появляются серо-зеленые и буро-зеленые пятна, которые затем сливаются в полосы, листья погибают.

Необходимость никеля для живых организмов доказана сравнительно недавно. В высших растениях он входит в состав фермента уреазы, также может оказывать неспецифическое влияние на функционирование других ферментов.

Таблица 3

Содержание элементов в надземной и подземной частях некоторых представителей родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

Вид сырья	Под	Таксон	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
Наземные органы	<i>Iris</i> L.	<i>I. orientalis</i>	1,395 ± 0,019	0,094 ± 0,008	1,688 ± 0,020	17,958 ± 0,577	1,705 ± 0,008	7,572 ± 0,009	3,744 ± 0,024	2,128 ± 0,043
		<i>I. pseudacorus</i>	1,276 ± 0,006	0,0725 ± 0,0005	1,064 ± 0,024	18,335 ± 0,249	2,058 ± 0,012	8,201 ± 0,003	3,653 ± 0,022	2,263 ± 0,004
		<i>I. sibirica</i>	2,066 ± 0,001	0,131 ± 0,0005	2,167 ± 0,015	15,423 ± 0,171	1,940 ± 0,014	6,670 ± 0,005	3,008 ± 0,049	2,149 ± 0,006
		<i>I. spuria</i> subsp. <i>carthalimiae</i>	1,812 ± 0,016	0,1015 ± 0,0005	1,578 ± 0,003	17,928 ± 0,136	1,820 ± 0,052	7,959 ± 0,022	3,121 ± 0,012	1,825 ± 0,010
		V, %	22,401	24,249	27,868	7,686	8,094	8,840	10,966	8,949
		'Actaea'	0,243 ± 0,009	0,012 ± 0,001	0,041 ± 0,001	17,236 ± 0,248	0,478 ± 0,001	0,608 ± 0,001	0,371 ± 0,001	0,772 ± 0,005
		'Arctic Gold'	0,795 ± 0,012	0,013 ± 0,000	0,104 ± 0,001	11,253 ± 0,042	0,533 ± 0,003	0,678 ± 0,003	0,755 ± 0,010	0,738 ± 0,009
		'Cassata'	0,345 ± 0,003	0,020 ± 0,000	0,183 ± 0,000	11,973 ± 0,009	0,548 ± 0,004	0,627 ± 0,002	0,477 ± 0,008	0,678 ± 0,001
		'Quail'	0,956 ± 0,004	0,037 ± 0,001	0,254 ± 0,001	10,970 ± 0,182	0,641 ± 0,007	0,732 ± 0,001	0,838 ± 0,004	1,823 ± 0,031
		'Sir Winston Churchill'	0,543 ± 0,004	0,028 ± 0,000	0,161 ± 0,001	24,027 ± 0,152	0,585 ± 0,004	0,648 ± 0,000	0,556 ± 0,004	0,983 ± 0,001
		'White Lady'	0,793 ± 0,010	0,018 ± 0,000	0,144 ± 0,001	14,123 ± 0,125	0,563 ± 0,012	0,708 ± 0,007	0,758 ± 0,011	0,919 ± 0,002
		'Calgary'	0,723 ± 0,021	0,032 ± 0,001	0,064 ± 0,001	22,406 ± 0,152	0,476 ± 0,002	0,648 ± 0,001	0,378 ± 0,004	0,844 ± 0,001
'Pink Parasol'	0,901 ± 0,021	0,013 ± 0,000	0,086 ± 0,002	8,213 ± 0,004	0,570 ± 0,012	0,735 ± 0,001	0,767 ± 0,021	0,767 ± 0,021		
V, %	39,217	44,281	53,947	37,951	9,978	7,141	30,920	39,351		
Подземные органы	<i>Paeonia</i> L.	<i>P. delavayi</i>	1,478 ± 0,028	0,077 ± 0,001	0,815 ± 0,022	36,212 ± 0,041	1,857 ± 0,005	3,020 ± 0,003	2,091 ± 0,025	3,102 ± 0,018
		<i>P. lactiflora</i>	1,382 ± 0,011	0,172 ± 0,001	0,609 ± 0,005	39,491 ± 0,097	1,910 ± 0,019	3,461 ± 0,004	2,484 ± 0,026	1,998 ± 0,006
		<i>P. lactiflora</i> f. <i>rosea</i>	1,483 ± 0,017	0,099 ± 0,001	0,690 ± 0,007	39,918 ± 0,346	1,907 ± 0,006	3,495 ± 0,004	3,093 ± 0,011	3,352 ± 0,007
		<i>P. peregrina</i>	1,468 ± 0,007	0,093 ± 0,000	0,750 ± 0,001	30,713 ± 0,222	1,889 ± 0,005	3,273 ± 0,005	2,750 ± 0,028	10,020 ± 0,056
		'Аппассионата'	1,818 ± 0,003	0,089 ± 0,001	0,559 ± 0,009	29,232 ± 0,050	2,117 ± 0,016	2,874 ± 0,002	2,897 ± 0,018	1,938 ± 0,001
		'Мустанг Карим'	2,191 ± 0,012	0,337 ± 0,001	0,469 ± 0,002	33,930 ± 0,266	1,843 ± 0,003	3,025 ± 0,012	3,416 ± 0,013	6,149 ± 0,061
		'Jeanne d'Arc'	1,623 ± 0,030	0,117 ± 0,002	0,418 ± 0,004	30,045 ± 0,171	1,855 ± 0,003	3,031 ± 0,014	2,831 ± 0,047	2,982 ± 0,002
		V, %	17,346	65,470	23,642	13,009	4,946	7,638	15,185	69,113
		<i>I. orientalis</i>	0,849 ± 0,013	0,05 ± 0,000	0,744 ± 0,026	7,502 ± 0,173	0,639 ± 0,003	2,516 ± 0,002	1,545 ± 0,036	0,600 ± 0,002
		<i>I. pseudacorus</i>	0,664 ± 0,018	0,02 ± 0,001	0,102 ± 0,001	5,895 ± 0,039	0,606 ± 0,007	2,576 ± 0,005	1,575 ± 0,020	0,695 ± 0,012
		<i>I. sibirica</i>	0,463 ± 0,011	0,018 ± 0,000	0,588 ± 0,015	6,570 ± 0,065	0,654 ± 0,012	2,675 ± 0,001	1,120 ± 0,003	0,54 ± 0,000
		<i>I. spuria</i> subsp. <i>carthalimiae</i>	0,832 ± 0,019	0,024 ± 0,001	0,787 ± 0,000	7,196 ± 0,364	0,573 ± 0,002	2,759 ± 0,010	0,715 ± 0,000	0,668 ± 0,009
V, %	25,624	53,133	56,556	10,486	5,839	4,079	32,800	11,147		

Продолжение таблицы 3

		0,601 ± 0,011	0,023 ± 0,000	0,082 ± 0,002	10,793 ± 0,254	0,538 ± 0,006	0,615 ± 0,004	0,483 ± 0,010	0,592 ± 0,000
		0,415 ± 0,007	0,032 ± 0,001	0,201 ± 0,009	18,310 ± 0,078	0,583 ± 0,005	0,640 ± 0,003	0,647 ± 0,007	0,867 ± 0,001
		1,08 ± 0,022	0,028 ± 0,001	0,140 ± 0,000	10,168 ± 0,036	0,523 ± 0,006	0,697 ± 0,001	0,800 ± 0,010	1,165 ± 0,001
		0,390 ± 0,009	0,014 ± 0,001	0,105 ± 0,001	19,477 ± 0,038	0,545 ± 0,010	0,640 ± 0,001	0,573 ± 0,001	0,670 ± 0,006
		1,386 ± 0,032	0,038 ± 0,000	0,226 ± 0,004	12,411 ± 0,073	0,530 ± 0,014	0,783 ± 0,004	1,065 ± 0,006	0,81 ± 0,001
		1,698 ± 0,026	0,026 ± 0,001	0,051 ± 0,001	16,050 ± 0,173	0,386 ± 0,040	0,702 ± 0,001	0,980 ± 0,014	0,931 ± 0,008
		0,270 ± 0,001	0,020 ± 0,000	0,198 ± 0,003	13,544 ± 0,132	0,546 ± 0,007	0,713 ± 0,001	0,767 ± 0,004	0,790 ± 0,001
		0,905 ± 0,004	0,014 ± 0,001	0,089 ± 0,001	8,108 ± 0,043	0,544 ± 0,009	0,725 ± 0,000	0,758 ± 0,002	1,010 ± 0,004
		61,158	34,530	47,554	29,652	11,185	7,986	25,753	21,477
		0,261 ± 0,005	0,018 ± 0,000	0,261 ± 0,012	10,776 ± 0,008	0,700 ± 0,006	1,016 ± 0,004	0,841 ± 0,008	0,505 ± 0,000
		0,022 ± 0,000	0,012 ± 0,001	0,268 ± 0,003	16,129 ± 0,083	0,653 ± 0,011	1,203 ± 0,001	0,986 ± 0,003	0,675 ± 0,000
		0,483 ± 0,006	0,019 ± 0,001	0,203 ± 0,003	13,444 ± 0,091	0,579 ± 0,060	1,028 ± 0,002	1,274 ± 0,019	0,842 ± 0,008
		0,468 ± 0,001	0,010 ± 0,000	0,137 ± 0,002	14,416 ± 0,091	0,654 ± 0,012	1,018 ± 0,003	0,745 ± 0,001	0,893 ± 0,003
		0,278 ± 0,004	0,028 ± 0,001	0,119 ± 0,002	10,511 ± 0,026	0,504 ± 0,001	0,957 ± 0,007	1,144 ± 0,030	0,751 ± 0,001
		0,315 ± 0,006	0,051 ± 0,001	0,101 ± 0,001	10,215 ± 0,090	0,566 ± 0,002	1,023 ± 0,008	0,897 ± 0,013	1,229 ± 0,014
		0,358 ± 0,006	0,030 ± 0,000	0,101 ± 0,002	9,932 ± 0,172	0,328 ± 0,001	1,019 ± 0,001	1,006 ± 0,008	0,844 ± 0,001
		49,555	58,482	43,083	20,033	21,975	7,397	18,323	27,214

Table 3

The content of elements in the aboveground and underground parts of some representatives of the genera *Iris L.*, *Narcissus L.*, *Paeonia L.*

Type of raw material	Genus	Taxon	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
Above ground organs	<i>Iris L.</i>	<i>I. orientalis</i>	1.395 ± 0.019	0.094 ± 0.008	1.688 ± 0.020	17.958 ± 0.577	1.705 ± 0.008	7.572 ± 0.009	3.744 ± 0.024	2.128 ± 0.043
		<i>I. pseudacorus</i>	1.276 ± 0.006	0.0725 ± 0.0005	1.064 ± 0.024	18.335 ± 0.249	2.058 ± 0.012	8.201 ± 0.003	3.653 ± 0.022	2.263 ± 0.004
		<i>I. sibirica</i>	2.066 ± 0.001	0.131 ± 0.0005	2.167 ± 0.015	15.423 ± 0.171	1.940 ± 0.014	6.670 ± 0.005	3.008 ± 0.049	2.149 ± 0.006
		<i>I. spuria subsp. carthalimiae</i>	1.812 ± 0.016	0.1015 ± 0.0005	1.578 ± 0.003	17.928 ± 0.136	1.820 ± 0.052	7.959 ± 0.022	3.121 ± 0.012	1.825 ± 0.010
		V, %	22.401	24.249	27.868	7.686	8.094	8.840	10.966	8.949
		<i>'Actaea'</i>	0.243 ± 0.009	0.012 ± 0.001	0.041 ± 0.001	17.236 ± 0.248	0.478 ± 0.001	0.608 ± 0.001	0.371 ± 0.001	0.772 ± 0.005
		<i>'Arctic Gold'</i>	0.795 ± 0.012	0.013 ± 0.000	0.104 ± 0.001	11.253 ± 0.042	0.533 ± 0.003	0.678 ± 0.003	0.755 ± 0.010	0.738 ± 0.009
		<i>'Cassata'</i>	0.345 ± 0.003	0.020 ± 0.000	0.183 ± 0.000	11.973 ± 0.009	0.548 ± 0.004	0.627 ± 0.002	0.477 ± 0.008	0.678 ± 0.001
		<i>'Quail'</i>	0.956 ± 0.004	0.037 ± 0.001	0.254 ± 0.001	10.970 ± 0.182	0.641 ± 0.007	0.732 ± 0.001	0.838 ± 0.004	1.823 ± 0.031

Biology and biotechnologies

Биология и биотехнологии

Table continuation 3

Underground organs	Paonia L.	'Sir Winston Churchill'	0.543 ± 0.004	0.028 ± 0.000	0.161 ± 0.001	24.027 ± 0.152	0.585 ± 0.004	0.648 ± 0.000	0.556 ± 0.004	0.983 ± 0.001	
		'White Lady'	0.793 ± 0.010	0.018 ± 0.000	0.144 ± 0.001	14.123 ± 0.125	0.563 ± 0.012	0.708 ± 0.007	0.758 ± 0.011	0.919 ± 0.002	
		'Calgary'	0.723 ± 0.021	0.032 ± 0.001	0.064 ± 0.001	22.406 ± 0.152	0.476 ± 0.002	0.648 ± 0.001	0.378 ± 0.004	0.844 ± 0.001	
		'Pink Parasol'	0.901 ± 0.021	0.013 ± 0.000	0.086 ± 0.002	8.213 ± 0.004	0.570 ± 0.012	0.735 ± 0.001	0.767 ± 0.021	0.767 ± 0.021	
		V, %	39.217	44.281	53.947	37.951	9.978	7.141	30.920	39.351	
		<i>P. delavayi</i>	1.478 ± 0.028	0.077 ± 0.001	0.815 ± 0.022	36.212 ± 0.041	1.857 ± 0.005	3.020 ± 0.003	2.091 ± 0.025	3.102 ± 0.018	
		<i>P. lactiflora</i>	1.382 ± 0.011	0.172 ± 0.001	0.609 ± 0.005	39.491 ± 0.097	1.910 ± 0.019	3.461 ± 0.004	2.484 ± 0.026	1.998 ± 0.006	
		<i>P. lactiflora f. rosea</i>	1.483 ± 0.017	0.099 ± 0.001	0.690 ± 0.007	39.918 ± 0.346	1.907 ± 0.006	3.495 ± 0.004	3.093 ± 0.011	3.352 ± 0.007	
		<i>P. peregrina</i>	1.468 ± 0.007	0.093 ± 0.000	0.750 ± 0.001	30.713 ± 0.222	1.889 ± 0.005	3.273 ± 0.005	2.750 ± 0.028	10.020 ± 0.056	
		'Appassionata'	1.818 ± 0.003	0.089 ± 0.001	0.559 ± 0.009	29.232 ± 0.050	2.117 ± 0.016	2.874 ± 0.002	2.897 ± 0.018	1.938 ± 0.001	
		'Mustay Karim'	2.191 ± 0.012	0.337 ± 0.001	0.469 ± 0.002	33.930 ± 0.266	1.843 ± 0.003	3.025 ± 0.012	3.416 ± 0.013	6.149 ± 0.061	
		'Jeanne d'Arc'	1.623 ± 0.030	0.117 ± 0.002	0.418 ± 0.004	30.045 ± 0.171	1.855 ± 0.003	3.031 ± 0.014	2.831 ± 0.047	2.982 ± 0.002	
		V, %	17.346	65.470	23.642	13.009	4.946	7.638	15.185	69.113	
Underground organs	Iris L.	<i>I. orientalis</i>	0.849 ± 0.013	0.05 ± 0.000	0.744 ± 0.026	7.502 ± 0.173	0.639 ± 0.003	2.516 ± 0.002	1.545 ± 0.036	0.600 ± 0.002	
		<i>I. pseudacorus</i>	0.664 ± 0.018	0.02 ± 0.001	0.102 ± 0.001	5.895 ± 0.039	0.606 ± 0.007	2.576 ± 0.005	1.575 ± 0.020	0.695 ± 0.012	
		<i>I. sibirica</i>	0.463 ± 0.011	0.018 ± 0.000	0.588 ± 0.015	6.570 ± 0.065	0.654 ± 0.012	2.675 ± 0.001	1.120 ± 0.003	0.54 ± 0.000	
		<i>I. spuria subsp. carthaginiæ</i>	0.832 ± 0.019	0.024 ± 0.001	0.787 ± 0.000	7.196 ± 0.364	0.573 ± 0.002	2.759 ± 0.010	0.715 ± 0.000	0.668 ± 0.009	
		V, %	25.624	53.133	56.556	10.486	5.839	4.079	32.800	11.147	
		'Actæa'	0.601 ± 0.011	0.023 ± 0.000	0.082 ± 0.002	10.793 ± 0.254	0.538 ± 0.006	0.615 ± 0.004	0.483 ± 0.010	0.592 ± 0.000	
		'Arctic Gold'	0.415 ± 0.007	0.032 ± 0.001	0.201 ± 0.009	18.310 ± 0.078	0.583 ± 0.005	0.640 ± 0.003	0.647 ± 0.007	0.867 ± 0.001	
		'Cassata'	1.08 ± 0.022	0.028 ± 0.001	0.140 ± 0.000	10.168 ± 0.036	0.523 ± 0.006	0.697 ± 0.001	0.800 ± 0.010	1.165 ± 0.001	
		'Quail'	0.390 ± 0.009	0.014 ± 0.001	0.105 ± 0.001	19.477 ± 0.038	0.545 ± 0.010	0.640 ± 0.001	0.573 ± 0.001	0.670 ± 0.006	
		'Sir Winston Churchill'	1.386 ± 0.032	0.038 ± 0.000	0.226 ± 0.004	12.411 ± 0.073	0.530 ± 0.014	0.783 ± 0.004	1.065 ± 0.006	0.81 ± 0.001	
		'White Lady'	1.698 ± 0.026	0.026 ± 0.001	0.051 ± 0.001	16.050 ± 0.173	0.386 ± 0.040	0.702 ± 0.001	0.980 ± 0.014	0.931 ± 0.008	
		'Calgary'	0.270 ± 0.001	0.020 ± 0.000	0.198 ± 0.003	13.544 ± 0.132	0.546 ± 0.007	0.713 ± 0.001	0.767 ± 0.004	0.790 ± 0.001	
		'Pink Parasol'	0.905 ± 0.004	0.014 ± 0.001	0.089 ± 0.001	8.108 ± 0.043	0.544 ± 0.009	0.725 ± 0.000	0.758 ± 0.002	1.010 ± 0.004	
V, %	61.158	34.530	47.554	29.652	11.185	7.986	25.753	21.477			
Underground organs	Paonia L.	<i>P. delavayi</i>	0.261 ± 0.005	0.018 ± 0.000	0.261 ± 0.012	10.776 ± 0.008	0.700 ± 0.006	1.016 ± 0.004	0.841 ± 0.008	0.505 ± 0.000	
		<i>P. lactiflora</i>	0.022 ± 0.000	0.012 ± 0.001	0.268 ± 0.003	16.129 ± 0.083	0.653 ± 0.011	1.203 ± 0.001	0.986 ± 0.003	0.675 ± 0.000	
		<i>P. lactiflora f. rosea</i>	0.483 ± 0.006	0.019 ± 0.001	0.203 ± 0.003	13.444 ± 0.091	0.579 ± 0.060	1.028 ± 0.002	1.274 ± 0.019	0.842 ± 0.008	
		<i>P. peregrina</i>	0.468 ± 0.001	0.010 ± 0.000	0.137 ± 0.002	14.416 ± 0.091	0.654 ± 0.012	1.018 ± 0.003	0.745 ± 0.001	0.893 ± 0.003	
		'Appassionata'	0.278 ± 0.004	0.028 ± 0.001	0.119 ± 0.002	10.511 ± 0.026	0.504 ± 0.001	0.957 ± 0.007	1.144 ± 0.030	0.751 ± 0.001	
		'Mustay Karim'	0.315 ± 0.006	0.051 ± 0.001	0.101 ± 0.001	10.215 ± 0.090	0.566 ± 0.002	1.023 ± 0.008	0.897 ± 0.013	1.229 ± 0.014	
		'Jeanne d'Arc'	0.358 ± 0.006	0.030 ± 0.000	0.101 ± 0.002	9.932 ± 0.172	0.328 ± 0.001	1.019 ± 0.001	1.006 ± 0.008	0.844 ± 0.001	
		V, %	49.555	58.482	43.083	20.033	21.975	7.397	18.323	27.214	

Ряды элементов в порядке убывания их содержания в исследуемом сырье

Родовой комплекс	Вид сырья	Ряды элементов
<i>Iris</i> L.	Надземные органы	Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd
	Подземные органы	Cu > Mn > Ni > As > Pb > Fe > Cr > Cd
<i>Narcissus</i> L.	Надземные органы	Cu > Pb > Mn > As > Ni > Fe > Cr > Cd
	Подземные органы	Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd
<i>Paeonia</i> L.	Надземные органы	Cu > Pb > Mn > Ni > Fe > As > Cr > Cd
	Подземные органы	Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd

Table 4

Rows of elements in descending order of their content in the studied raw materials

Generic complex	Type of raw material	Rows of elements
<i>Iris</i> L.	Elevated organs	Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd
	Underground organs	Cu > Mn > Ni > As > Pb > Fe > Cr > Cd
<i>Narcissus</i> L.	Elevated organs	Cu > Pb > Mn > As > Ni > Fe > Cr > Cd
	Underground organs	Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd
<i>Paeonia</i> L.	Elevated organs	Cu > Pb > Mn > Ni > Fe > As > Cr > Cd
	Underground organs	Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd

Установлено, что в небольших количествах свинец необходим растительным организмам. Его избыток ингибирует процессы дыхания и фотосинтеза, иногда приводит к увеличению содержания кадмия и снижению поступления цинка, кальция, фосфора, серы. Вследствие этого снижается урожайность растений и ухудшается качество производимой продукции. Внешние симптомы негативного действия свинца – появление темно-зеленых листьев, скручивание старых листьев, чахлая листва [13, с. 250].

При анализе полученных данных выявлено, что суммарное содержание Cd, Fe, Mn в надземной и подземной частях исследуемых растений не превышает предельно допустимых концентраций (таблицы 2, 3). Также отмечено, что кумуляция Pb в сырье большинства анализируемых таксонов не выходит за пределы ПДК, за исключением надземной массы *P. peregrina* и *P. lactiflora* ‘Мустай Карим’: здесь наблюдали превышение ПДК на 4,02 и 0,15 мг/кг. Также концентрации Cr, превышающие максимально допустимый уровень (МДУ) на 0,06–1,17 мг/кг, наблюдали в надземных частях представителей рода *Iris* L. (*I. orientalis*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae*, *I. pseudacorus*, *I. sibirica*). Кроме того, превышение МДУ Cu на 0,7–9,9 мг/кг отмечали в надземных частях отдельных представителей рода *Paeonia* L. (*P. delavayi*, *P. lactiflora*, *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. peregrina*, ‘Мустай Карим’). МДУ Ni был превышен в надземных частях ирисов на 0,1–0,74 мг/кг (*I. orientalis*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae*, *I. pseudacorus*) и на 0,35 и 0,4 мг/кг в надземных частях *P. lactiflora* f. *rosea*. Кумуляция As в надземных частях представителей родов *Iris*, *Paeonia* превышала ПДК на 0,78–1,69 мг/кг. У представителей рода *Narcissus* также отмечали

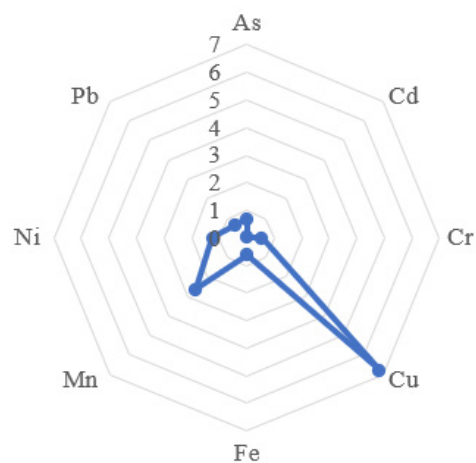
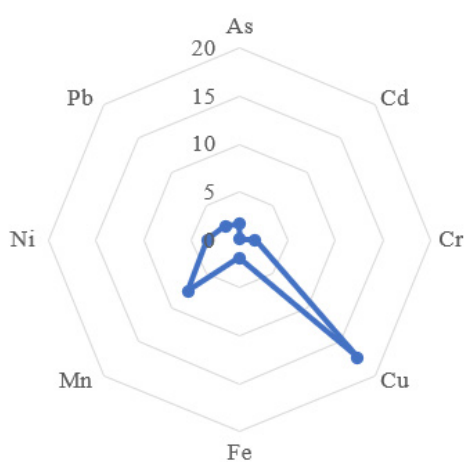
превышение ПДК в надземных и подземных частях у ‘Pink Parasol’ (на 0,4 мг/кг), ‘White Lady’ (на 0,79 и 1,2 мг/кг соответственно), ‘Sir Winston Churchill’ (на 0,043 и 0,89 мг/кг соответственно); в надземной части ‘Arctic Gold’ (на 0,29 мг/кг), ‘Quail’ (на 0,45 мг/кг), ‘Calgary’ (на 0,22 мг/кг); в подземной части ‘Actaea’ (на 0,1 мг/кг), ‘Cassata’ (на 0,58 мг/кг).

Таким образом, проведенный анализ показал, что в надземной части большинства изученных таксонов кумулируется As в концентрациях, превышающих ПДК. Превышение уровня Cr, Cu, Ni, Pb отмечали в надземной части некоторых представителей ирисов и пионов. Содержание Cd, Fe и Mn у всех изучаемых таксонов находится в допустимых пределах.

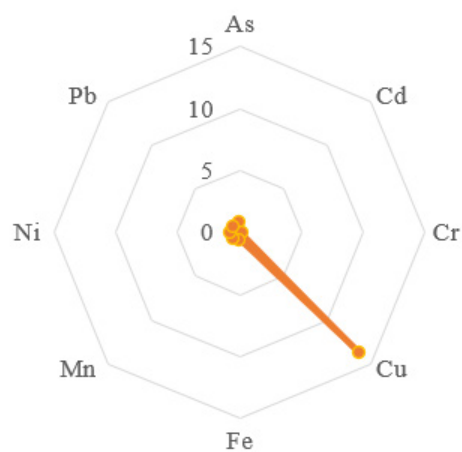
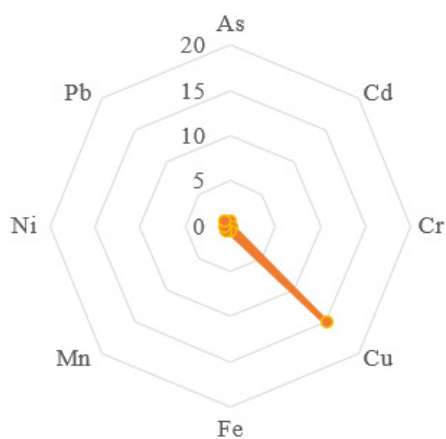
Расчет коэффициента вариации показал, что содержание Mn и Fe характеризуются слабой или средней изменчивостью независимо от вида сырья. По содержанию Cu у ирисов отмечали незначительную изменчивость, а у нарциссов и пионов значительную. Содержание других изучаемых элементов также характеризовалось значительной вариабельностью.

Также было определено среднее содержание тяжелых металлов по родам и по ним построены лепестковые диаграммы содержания элементов в надземной и подземной частях (рис. 1). Выявлено, что в надземной массе ирисов содержится большее количество As, Cr, Mn, Ni, чем в других исследуемых объектах; а в пионах выше содержание Cd, Cu, Fe, Pb. Подземная масса ирисов отличалась более высокой кумуляцией Cd, Cr, Fe, Mn, Ni; нарцисса – As, Cu; пиона – Pb. Кроме того, для каждого анализируемого рода построены ряды элементов в порядке убывания их содержания в исследуемом сырье (таблица 4).

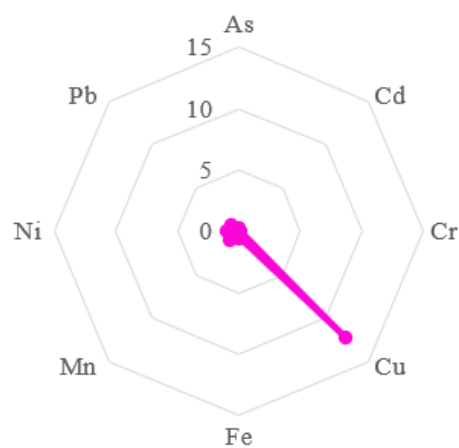
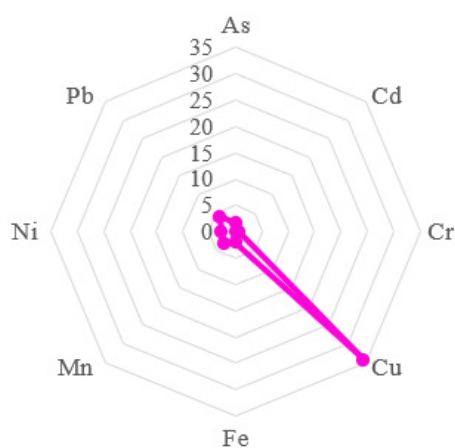
Род *Iris* L.
Genus *Iris* L.



Род *Narcissus* L.
Genus *Narcissus* L.



Род *Paeonia* L.
Genus *Paeonia* L.



Надземная часть

Подземная часть

Рис. 1. Лепестковые диаграммы содержания тяжелых металлов в надземных и подземных органах родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

Fig. 1. Radar diagrams of the content of heavy metals in the aboveground and underground organs of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенные исследования показали, что в надземной части большинства изученных таксонов аккумулируется As в концентрациях, превышающих ПДК. Превышение уровня Cr, Cu, Ni, Pb отмечали в надземной части некоторых представителей ирисов и пионов. Содержание Cd, Fe и Mn у всех изучаемых таксонов находится в допустимых пределах. Также выявлено, что показатели содержания большинства элементов характеризуются большой изменчивостью, что подтверждается результатами других исследователей [6]. Отмечено,

что у ирисов в больших количествах, чем в других таксонах, в надземной части аккумулируется As, Cr, Mn, Ni, а в подземной – Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, следовательно их можно рекомендовать для использования в озеленении урбанизированных территорий.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» № FMRS-2022-0072.

Библиографический список

1. Реут А. А., Денисова С. Г. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L. // Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 45–55. DOI: 10.32417/1997-2021-214-11-45-55.
2. Седельникова Л. Л., Цандекова О. Л. Динамика накопления серы и азота в вегетативных органах красоднева гибридного (*Heimerocallis hybrida*) в условиях техногенной среды // Вестник КрасГАУ. 2018. № 1 (136). С. 182–187.
3. Щукин В. М., Кузьмина Н. Е., Швецова Ю. Н., Лутцева А. И. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в различных лекарственных формах растительных препаратов российского фармацевтического рынка // Ведомости научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2020. Т. 10. № 1. С. 41–50. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50.
4. Мартынов А. М., Чупарина Е. В., Даргаева Т. Д. Исследование фенольных соединений и элементного состава подземных органов *Euphorbia fischeriana* Steud. // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 269–276. DOI: 10.14258/jcprm.2022019135.
5. Дунилин А. Д., Чистякова А. С. Изучение флавоноидов цветков каштана конского обыкновенного // 90 лет – от растения до лекарственного препарата: достижения и перспективы: сборник материалов юбилейной международной научной конференции. Москва, 2021. С. 196–200. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_196.
6. Сиромля Т. И., Остроухова Е. Г. Содержание и особенности распределения химических элементов в растениях сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. Тюмень, 2018. С. 279–285.
7. Елагина Д. С., Архипова Н. С., Воробьев В. Н. Комплексное исследование металлоустойчивости *Amaranthus retroflexus* L. // Известия Горского государственного аграрного университета. 2019. Т. 56. № 1. С. 154–162.
8. Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Никитичева Г. В. [и др.]. Оценка габитуса и транслокации токсичного хрома Cr (III) в биомассу *Tagetes erecta* при интродукции в среду гуминовых экстрактов сапропеля // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 83–88. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-83-88.
9. Реут А. А., Биглова А. Р., Аллаярова И. Н. Сравнительный анализ химического состава растительного сырья некоторых представителей родов *Narcissus* L. и *Camassia* Lindl. // Аграрный вестник Урала. 2021. № 2 (205). С. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90.
10. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Сортовые особенности биоаккумуляции железа в растениях ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151.
11. Фотев Ю. В., Шевчук О. М., Сысо А. И. Изучение вариабельности элементного состава семян сортообразцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. на юге Западной Сибири и в Крыму // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 217–226. DOI: 10.14258/JCPRM.2021027543.
12. Гончар-Зайкин П. П., Чертов В. Г. Надстройка к Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов [Электронный ресурс]. URL: <http://vniioh.ru/nadstrojka-k-excel-dlya-statisticheskoy-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevux-i-laboratornyx-opytov> (дата обращения: 26.09.2021).
13. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Элементный состав вегетативных органов сортов ‘Regal Air’ и ‘Speak to Me’ *Heimerocallis hybrida* // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 245–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020014612.

14. Государственная фармакопея Российской Федерации: в 3 томах [Электронный ресурс]. URL: <http://femb.ru/feml> (дата обращения: 01.11.2020).
15. Ширяева О. Ю., Ширяева М. М. Изменение содержания эссенциальных элементов в растениях разных сортов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 93–99. DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-93-99.
16. Бадмаева С. Э., Мучкина Е. Я., Подлужная А. С., Бадмаева Ю. В. Тяжелые металлы в почвенном покрове и древесных растениях урбанизированной территории. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. 166 с.
17. ПДК тяжелых металлов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. СанПиН 42-123-4089-86 от 31.03.86 [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=259784> (дата обращения: 16.11.2020).
18. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm> (дата обращения: 16.11.2020).

Об авторах:

Антонина Анатольевна Реут¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, cvetok.79@mail.ru

Светлана Галимулловна Денисова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-9005-9377, AuthorID 636056; +7 905 356-02-88, svetik-7808@mail.ru

Лилия Файзиевна Бекшенева¹, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-2506-4559, AuthorID 1039806; +7 917 413-21-68, linden07@yandex.ru

Ирина Нагимовна Аллаярова¹, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; +7 937 317-86-78, AllayarovaIrina@yandex.ru

¹ Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

A. A. Reut[✉], S. G. Denisova¹, L. F. Beksheneva¹, I. N. Allayarova¹

¹South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

[✉]E-mail: cvetok.79@mail.ru

Abstract. In modern conditions, heavy metals (HM) are considered as the main soil pollutants. On the one hand, they are necessary for the normal course of physiological processes, and on the other hand, at elevated HM concentrations, they are toxic. In this regard, it is important to study the content of heavy metals in plant objects. **The aim** of our research was to study the accumulation and distribution of elements (As, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Fe, Cr) in the aboveground and underground parts of ornamental herbaceous perennials of the genus *Iris* L., *Paeonia* L., *Narcissus* L. **The objects** of research were aboveground and underground organs of four species of the genus *Iris* L., eight varieties of the genus *Narcissus*, and seven taxa of the genus *Paeonia*. **Methods.** The study of the elemental composition of the aboveground and underground parts was carried out according to the method No. M-02-1009-05 of atomic spectroscopy. Mathematical data processing was carried out using the generally accepted methods of variation statistics using the AgCStat software package as an Excel add-in. **Scientific novelty.** For the first time, representatives of three different generic complexes were taken for the study. **Results.** Studies have shown that in the aerial part of most of the taxa studied, As accumulates in concentrations exceeding the maximum allowable concentrations. An excessive amount of Cr, Cu, Ni, Pb was noted in the aboveground part of some representatives of irises and peonies. The content of Cd, Fe, and Mn in all studied taxa is within acceptable limits. It was revealed

that the indicators of the content of most elements are characterized by great variability, which is confirmed by the results of other researchers. It was noted that in irises in larger quantities than in other taxa, As, Cr, Mn, Ni accumulate in the aboveground part, and Cd, Cr, Fe, Mn, Ni in the underground part, therefore, they can be recommended for use in landscaping urban areas.

Keywords: *Iris*, *Narcissus*, *Paeonia*, heavy metals, accumulation.

For citation: Reut A. A., Denisova S. G., Beksheneva L. F., Allayarova I. N. Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v nekotorykh predstavitel'yakh rodov *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. [Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 93–104. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-93-104. (In Russian.)

Date of paper submission: 20.02.2023, **date of review:** 14.03.2023, **date of acceptance:** 03.04.2023.

References

1. Reut A. A., Denisova S. G. Sravnitel'nyy analiz sodержaniya tyazhelykh metallov v syr'ye nekotorykh predstaviteley roda *Paeonia* L. [Comparative analysis of the content of heavy metals in raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 11 (214). Pp. 45–55. DOI: 10.32417/1997-2021-214-11-45-55. (In Russian.)
2. Sedel'nikova L. L., Tsandekova O. L. Dinamika nakopleniya sery i azota v vegetativnykh organakh krasnodneva gibridnogo (*Hemerocallis hybrida*) v usloviyakh tekhnogennoy sredy [Dynamics of sulfur and nitrogen accumulation in the vegetative organs of the *Hemerocallis hybrida* in the technogenic environment] // The Bulletin of KrasGAU. 2018. No. 1 (136). Pp. 182–187. (In Russian.)
3. Shchukin V. M., Kuz'mina N. E., Shvetsova Yu. N., Luttseva A. I. Sravnitel'nyy analiz sodержaniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka v razlichnykh lekarstvennykh formakh rastitel'nykh preparatov rossiyskogo farmatsevticheskogo rynka [Comparative analysis of the content of heavy metals and arsenic in various dosage forms of herbal preparations on the Russian pharmaceutical market] // Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation. 2020. Vol. 10. No. 1. Pp. 41–50. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50. (In Russian.)
4. Martynov A. M., Chuparina E. V., Dargayeva T. D. Issledovaniye fenol'nykh soyedineniy i elementnogo sostava podzemnykh organov *Euphorbia fischeriana* Steud. [Study of phenolic compounds and elemental composition of underground organs of *Euphorbia fischeriana* Steud.] // Chemistry of plant raw material. 2022. No. 1. Pp. 269–276. DOI: 10.14258/jcprm.2022019135. (In Russian.)
5. Dunilin A. D., Chistyakova A. S. Izucheniye flavonoidov tsvetkov kashtana konskogo obyknovennogo [The study of flavonoids of horse chestnut flowers] // 90 let – ot rasteniya do lekarstvennogo preparata: dostizheniya i perspektivy: sbornik materialov yubileynoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Moscow, 2021. Pp. 196–200. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_196. (In Russian.)
6. Siromlya T. I., Ostroukhova E. G. Soderzhaniye i osobennosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v rasteniyakh sem. *Asteraceae* yuga Zapadnoy Sibiri [The content and features of the distribution of chemical elements in plants of this family *Asteraceae* of the south of Western Siberia] // Biogeokhimiya khimicheskikh elementov i soyedineniy v prirodnykh sredakh: materialy III Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh issledovatelye. Tyumen, 2018. Pp. 279–285. (In Russian.)
7. Elagina D. S., Arkhipova N. S., Vorob'yev V. N. Kompleksnoye issledovaniye metalloustoychivosti *Amaranthus retroflexus* L. [A comprehensive study of the metal resistance of *Amaranthus retroflexus* L.] // Journal of proceedings of the Gorsky SAU. 2019. Vol. 56. No. 1. Pp. 154–162. (In Russian.)
8. Pukhal'skiy Ya. V., Loskutov S. I., Nikiticheva G. V. et al. Otsenka gabitusa i translokatsii toksichnogo khroma Cr (III) v biomassu *Tagetes erecta* pri introduktsii v sredu guminovykh ekstraktov sapropelya [Estimation of the habitus and translocation of toxic chromium Cr (III) into the biomass of *Tagetes erecta* during the introduction of sapropel humic extracts into the medium] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). Pp. 83–88. DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-83-88. (In Russian.)
9. Reut A. A., Biglova A. R., Allayarova I. N. Sravnitel'nyy analiz khimicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ya nekotorykh predstaviteley rodov *Narcissus* L. i *Camassia* Lindl. [Comparative analysis of the chemical composition of plant materials of some representatives of the genera *Narcissus* L. and *Camassia* Lindl.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 2 (205). Pp. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90. (In Russian.)
10. Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. Sortovyye osobennosti bioakkumulyatsii zheleza v rasteniyakh yachmenya [Varietal features of iron bioaccumulation in barley plants] // Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 3 (23). Pp. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151. (In Russian.)

11. Fotev Yu. V., Shevchuk O. M., Sysso A. I. Izucheniye variabel'nosti elementnogo sostava semyan sortobraztsov *Vigna unguiculata* (L.) Walp. na yuge Zapadnoy Sibiri i v Krymu [The study of the variability of the elemental composition of seeds of variety samples *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in the south of Western Siberia and in the Crimea] // Chemistry of plant raw material. 2021. No. 2. Pp. 217–226. DOI: 10.14258/JCPRM.2021027543. (In Russian.)
12. Gonchar-Zaykin P. P., Chertov V. G. Nadstroyka k Excel dlya statisticheskoy otsenki i analiza rezul'tatov polevykh i laboratornykh opytov [Excel add-in for statistical evaluation and analysis of field and laboratory results] [e-resource]. URL: <http://vniioh.ru/nadstroyka-k-excel-dlya-statisticheskoy-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevykh-i-laboratornykh-opytov> (date of reference: 26.09.2021). (In Russian.)
13. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Elementnyy sostav vegetativnykh organov sortov 'Regal Air' i 'Speak to Me' *Hemerocallis hybrida* [Elemental composition of vegetative organs of varieties 'Regal Air' and 'Speak to Me' *Hemerocallis hybrida*] // Chemistry of plant raw material. 2020. No. 1. Pp. 245–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020014612. (In Russian.)
14. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii: v 3 tomakh [State Pharmacopoeia of the Russian Federation: in 3 volumes] [e-resource]. URL: <http://femb.ru/feml> (date of reference: 01.11.2020). (In Russian.)
15. Shirayayeva O. Yu., Shirayayeva M. M. Izmeneniye sodержaniya essential'nykh elementov v rasteniyakh raznykh sortov [Changes in the content of essential elements in plants of different varieties] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). Pp. 93–99. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-93-99. (In Russian.)
16. Badmayeva S. E., Muchkina E. Ya., Podluzhnaya A. S., Badmayeva Yu. V. Tyazhelyye metally v pochvennom pokrove i drevesnykh rasteniyakh urbanizirovannoy territorii [Heavy metals in the soil cover and woody plants of an urbanized area]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. 166 p. (In Russian.)
17. PDK tyazhelykh metallov v prodovol'stvennom syr'ye i pishchevykh produktakh. SanPiN 42-123-4089-86 ot 31.03.86 [MPC of heavy metals in food raw materials and food products. San Pin 42-123-4089-86 dated 03/31/86] [e-resource]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1> (date of reference: 16.11.2020). (In Russian.)
18. Vremennyy maksimal'no dopustimyy uroven' (MDU) nekotorykh khimicheskikh elementov i gossypola v kormakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Temporary Maximum Permissible Level (MRL) for Certain Chemical Elements and Gossypol in Feed for Farm Animals] [e-resource]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm> (date of reference: 16.11.2020). (In Russian.)

Authors' information:

Antonina A. Reut¹, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, cvetok.79@mail.ru

Svetlana G. Denisova, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-9005-9377, AuthorID 636056; +7 905 356-02-88, svetik-7808@mail.ru

Liliya F. Beksheneva, junior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-2506-4559, AuthorID 1039806; +7 917 413-21-68, linden07@yandex.ru

Irina N. Allayarova¹, candidate of biological sciences, junior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; +7 937 317-86-78, Allayarowalrina@yandex.ru

¹ South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Перспективные белоягодные столовые сорта винограда (*Vitis L.*) в условиях Южного Урала

М. А. Тихонова¹✉

¹Оренбургский филиал ФГБНУ ФНЦ Садоводства, Оренбург, Россия

✉E-mail: marintikhonova@yandex.ru

Аннотация. Цель – выделить перспективные белоягодные столовые сорта винограда по биотическим и абиотическим факторам среды, продуктивности и урожайности в условиях Южного Урала для использования в селекции и промышленном производстве. Методы. В статье представлены результаты проведенного по методикам М. А. Лазаревского и А. М. Негруль изучения хозяйственно ценных признаков 8 столовых белоягодных сортов винограда. Схема посадки 1,5 × 3 м, учетных растений 9 шт. по каждому сорту. Культура укрывная, формировка кустов веерная, бесштамбовая. Агротехника общепринятая для орошаемых виноградников с учетом погодных условий региона. Статистическая обработка данных проведена дисперсионным методом по Б. А. Доспехову. Научная новизна. Установлена целесообразность и перспективность выращивания в условиях Южного Урала ряда белоягодных столовых сортов винограда раннего и очень раннего срока созревания. Выделен сорт винограда Лора (Флора) как наиболее адаптированный, продуктивный и урожайный, представляющий ценность для селекционной работы и промышленном производстве. По результатам исследования, проведенного в 2020–2022 гг., установлено, что к условиям Южного Урала пригодны сорта винограда очень раннего и раннего срока созревания, у которых от распускания до полной зрелости ягод проходит 110–130 суток. За годы исследований общее состояние изучаемых растений было высоким: 4,5–5,0 балла у сортов Августин, Аркадия, Белое Чудо, Восторг, Лора (Флора), Светлана, кусты оставались здоровыми, побеги – полноценными, их сохранность составляла 90–100 %. Сопоставление продуктивности исследуемых столовых белоягодных сортов винограда позволило выделить высококачественный перспективный сорт Лора (Флора) средняя масса грозди 317,0 г при массе ягоды 6,3 г, продуктивность составляла 3,8 кг с куста. Урожайность с 1 га выше контрольного сорта на 61,1 % была получена аналогично у сорта Лора (Флора). Он представляет ценность для использования в селекционной работе и промышленном производстве.

Ключевые слова: сорта винограда, срок созревания, средняя масса ягод, продуктивность кустов, побег, сохранность, адаптивность.

Для цитирования: Тихонова М. А. Перспективные белоягодные столовые сорта винограда (*Vitis L.*) в условиях Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 105–114. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-105-114.

Дата поступления статьи: 30.01.2023, **дата рецензирования:** 06.03.2023, **дата принятия:** 03.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Для закладки виноградников важен широкий сортимент высококачественных сортов, чтобы обеспечить возрастающие запросы потребителей и производителей в разных странах мира [1, с. 113; 2, с. 25; 3, с. 102; 4, с. 37]. Известно, что растения винограда в условиях резко континентального климата часто подвергаются воздействию различных неблагоприятных экологических факторов: недостаток суммы активных температур в отдельные годы, сильные морозы в зимний период, длительное отсутствие снежного покрова, сопровождающееся низким температурным фоном и др. [5, с. 4; 6, с. 18; 7, с. 30; 8, с. 67]. Поэтому одной из актуальных проблем является внедрение в производство сортов винограда,

устойчивых к биотическим и абиотическим стресс-факторам среды [9, с. 491; 10, с. 31; 11, с. 37]. Несмотря на большое количество и разнообразие сортов, в ряде регионов не хватает высокопродуктивных белоягодных столовых сортов винограда раннего и очень раннего срока созревания [12, с. 45; 13, с. 211]. Расширение сортимента осуществляется не только благодаря достижениям селекционеров, но и в результате интродукции и выделения наиболее продуктивных сортов с высокими товарно-потребительскими качествами [14, с. 523; 15, с. 43; 16, с. 36].

В Оренбургском филиале ФГБНУ ФНЦ Садоводства изучается более 50 столовых и технических сортов винограда отечественной и зарубежной се-

лекции, из них сформирована коллекция, которая сохраняется и ежегодно пополняется.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены на базе Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства в 2020–2022 гг., расположенного в 4 км от восточной окраины г. Оренбурга. Изучение сортов винограда, учет и наблюдения проведены по методикам М. А. Лазаревского [17] и А. М. Негруль [18]. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа по методике Б. А. Доспехова [19]. Опыт проводился на богарном винограднике закладки 2015 г., схема посадки 1,5 × 3 м с плотностью размещения 2200 растений/га. Почвенный покров сравнительно однородный, представлен черноземом обыкновенным, содержание гумуса в пахотном слое составляет 2,7–3,03 %, N – 98,5 мг/кг, P₂O₅ – 54,9 мг/кг, K₂O – 555,6 мг/кг почвы. Культура укрывная, формировка кустов веерная, бесштамбовая, учетных растений 9 шт. по каждому сорту. Кусты винограда на зиму укрывались почвой, слоем до 25–30 см. Агротехника общепринятая для орошаемых виноградников с учетом погодных условий региона.

Объектами исследований являлись 8 сортов винограда отечественной и зарубежной селекции: Августин (Плевен × Виллар блан; НИИВиВ, Плевен, Болгария), Аркадия (Молдова × Кардинал; ИВиВ им. Таирова, Украина), Белое Чудо (Оригинал × Восторг; НИИ виноградарства им. Я. И. Потапенко), Восторг ((Заря севера × Долорес) × Русский

ранний; НИИ виноградарства им. Я. И. Потапенко), Лора (Флора) ((Мускат де Сен-Валье × смесь пыльцы Мускат гамбургский + Хусайне) × Королева таировская; НИИ виноградарства им. Я. И. Потапенко), Супер Экстра (Талисман × (Кардинал + смесь пыльцы); любительской селекции (Е. Г. Павловский)), Светлана (Талисман × Русмол; НИИ виноградарства им. Я. И. Потапенко). Контролем служил районированный сорт Оренбургской селекции (Ф. И. Шатилов) Алешенькин Дар (Алешенькин × свободное опыление).

Краткая характеристика белоягодных столовых сортов винограда дана с поправкой на почвенно-климатические условия Южного Урала (таблица 1).

Виноградное растение обладает генетически унаследованной способностью противостоять воздействию низких температур в определенных пределах. За этим пределом в растении происходят необратимые процессы, при которых отдельные органы или куст в целом вымерзают. Сорта винограда различного географического происхождения по-разному реагируют на низкие температуры, морозоустойчивость глазков находится в пределах –18...–27 °С.

На зимостойкость сортов влияют наряду с факторами внешней среды (толщина и устойчивость снегового покрова, характер хода осенних, зимних температур, рельеф, защищенность участка и т. д.) и агротехнические мероприятия – сроки и способ укрывания кустов на зиму, толщина укрывного слоя.

Таблица 1

Краткая характеристика белоягодных сортов винограда

Наименование сорта	Тип цветка	Сила роста кустов	Вызревание лозы, %	Гроздь		Ягода		Сахара, %	Титруемая кислотность, %	Морозоустойчивость °С	
				Форма	Масса, г		Форма				Масса, г
					min	max					
Алешенькин Дар	о	Сильнорослые	90	Коническая	141	383	Овальная	4,0–5,0	19–21	0,37	–24
Августин	о		80		172	362		4,0–5,0	19–22	0,74	–25
Аркадия	о	Среднерослые	70		185	439	6,0–9,0	15–17	0,68	–21	
Белое чудо	о	Сильнорослые	85		149	327	5,0–7,0	19–21	0,63	–25	
Восторг	о		85		152	374	5,0–7,0	19–24	0,48	–25	
Лора (Флора)	ж		80		193	441	6,0–9,0	17–21	0,75	–23	
Супер Экстра	о		80		156	358	5,0–7,0	18–20	0,64	–23	
Светлана	о		60		145	411	6,0–9,0	16–18	0,81	–25	

Примечание. «о» – обоеполюй, «ж» – женский.

Table 1

Brief description of white-berry grape varieties

Name of varieties	Flower type	The strength of the growth of bushes	Vine ripening, %	Bunch		Berry		Sugar, %	Titratable acidity, %	Frost-Resistance, °C	
				Form	Mass, g		Form				Mass, g
					min	max					
<i>Alyshen'kin Dar</i>	<i>o</i>	<i>Vigorous</i>	90	<i>Conical</i>	141	383	<i>Oval</i>	4.0–5.0	19–21	0.37	–24
<i>Avgustin</i>	<i>o</i>		80		172	362		4.0–5.0	19–22	0.74	–25
<i>Arkadiya</i>	<i>o</i>	<i>Medium height</i>	70		185	439		6.0–9.0	15–17	0.68	–21
<i>Beloe Chudo</i>	<i>o</i>		85		149	327		5.0–7.0	19–21	0.63	–25
<i>Vostorg</i>	<i>o</i>	<i>Vigorous</i>	85		152	374		5.0–7.0	19–24	0.48	–25
<i>Lora (Flora)</i>	<i>g</i>		80		193	441		6.0–9.0	17–21	0.75	–23
<i>Super Ekstra</i>	<i>o</i>		80		156	358		5.0–7.0	18–20	0.64	–23
<i>Svetlana</i>	<i>o</i>		60		145	411		6.0–9.0	16–18	0.81	–25

Note. "h" – hermafrodite, "f" – female.

Таблица 2

Прохождение фенологических фаз сортов винограда, 2020–2022 гг.

Наименование сорта	Начало распускания почек	Начало цветения	Начало созревания ягод	Полная зрелость ягод	Начало вызревания лозы
Алешенькин Дар (К)	27.04 ± 5	10.06 ± 5	24.07 ± 3	18.08 ± 3	28.07 ± 3
Августин	28.04 ± 3	10.06 ± 6	27.07 ± 5	26.08 ± 5	25.07 ± 5
Аркадия	29.04 ± 5	10.06 ± 7	06.08 ± 5	29.08 ± 5	01.08 ± 5
Белое Чудо	27.04 ± 4	10.06 ± 5	22.07 ± 3	22.08 ± 5	27.07 ± 3
Восторг	27.04 ± 5	10.06 ± 5	24.07 ± 5	18.08 ± 3	28.07 ± 5
Лора (Флора)	28.04 ± 3	10.06 ± 5	25.07 ± 5	29.08 ± 5	28.07 ± 5
Супер Экстра	27.04 ± 5	10.06 ± 5	22.07 ± 5	25.08 ± 4	26.07 ± 5
Светлана	29.04 ± 5	16.06 ± 7	06.08 ± 7	07.09 ± 6	02.08 ± 7

Table 2

The passage of the phenological phases of grape varieties 2020–2022

Name of varieties	Beginning of bud break	Beginning of flowering	Beginning of berry ripening	Full maturity of berries	The beginning of the ripening of the vine
<i>Alyshen'kin Dar (C)</i>	27.04 ± 5	10.06 ± 5	24.07 ± 3	18.08 ± 3	28.07 ± 3
<i>Avgustin</i>	28.04 ± 3	10.06 ± 6	27.07 ± 5	26.08 ± 5	25.07 ± 5
<i>Arkadiya</i>	29.04 ± 5	10.06 ± 7	06.08 ± 5	29.08 ± 5	01.08 ± 5
<i>Beloe Chudo</i>	27.04 ± 4	10.06 ± 5	22.07 ± 3	22.08 ± 5	27.07 ± 3
<i>Vostorg</i>	27.04 ± 5	10.06 ± 5	24.07 ± 5	18.08 ± 3	28.07 ± 5
<i>Lora (Flora)</i>	28.04 ± 3	10.06 ± 5	25.07 ± 5	29.08 ± 5	28.07 ± 5
<i>Super Ekstra</i>	27.04 ± 5	10.06 ± 5	22.07 ± 5	25.08 ± 4	26.07 ± 5
<i>Svetlana</i>	29.04 ± 5	16.06 ± 7	06.08 ± 7	07.09 ± 6	02.08 ± 7

В условиях Южного Урала выращивание винограда возможно только при укрытии его на зиму. Осенью после формирования лозы виноградные кусты засыпаются почвой на 25–30 см, и в таком состоянии они сохраняются до весеннего потепления. За годы исследований складывались благоприятные погодные условия для зимнего покоя растений винограда.

По данным отдела Оренбургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей сре-

ды, зимний период 2019–2020 гг. был характерным для степной зоны Южного Урала, снежный покров составлял 46 см, промерзание почвы – 94 см, температура опускалась до –28 °C при норме –42 °C. Лоза очень ранних и ранних сортов винограда перед укрытием на зиму отмечена высокой степенью вызревания, что является важным в подготовке растений к зимнему периоду, степень вызревания лозы определило высокую зимостойкость тканей побегов и почек.

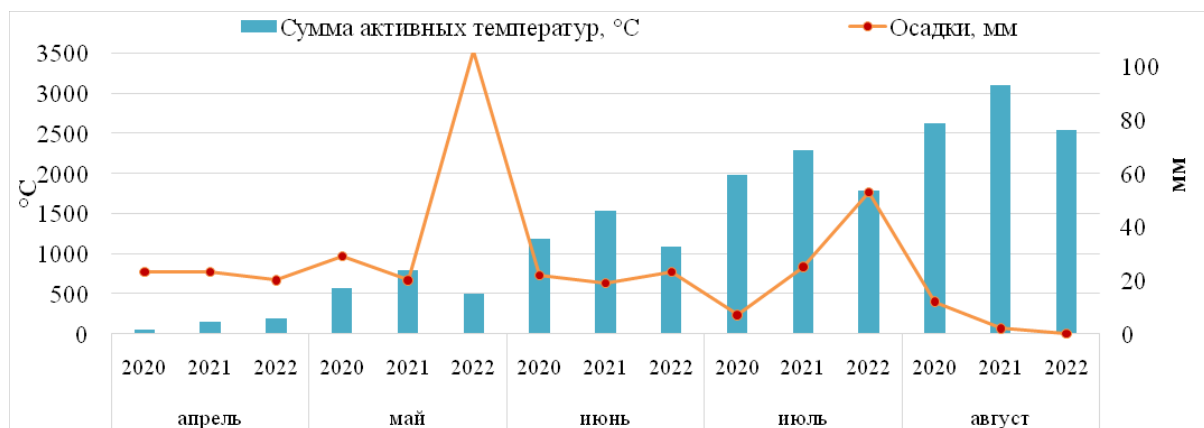


Рис. 1. Погодные условия вегетационных периодов от распускания почек до полного созревания сортов винограда, 2020–2022 гг.

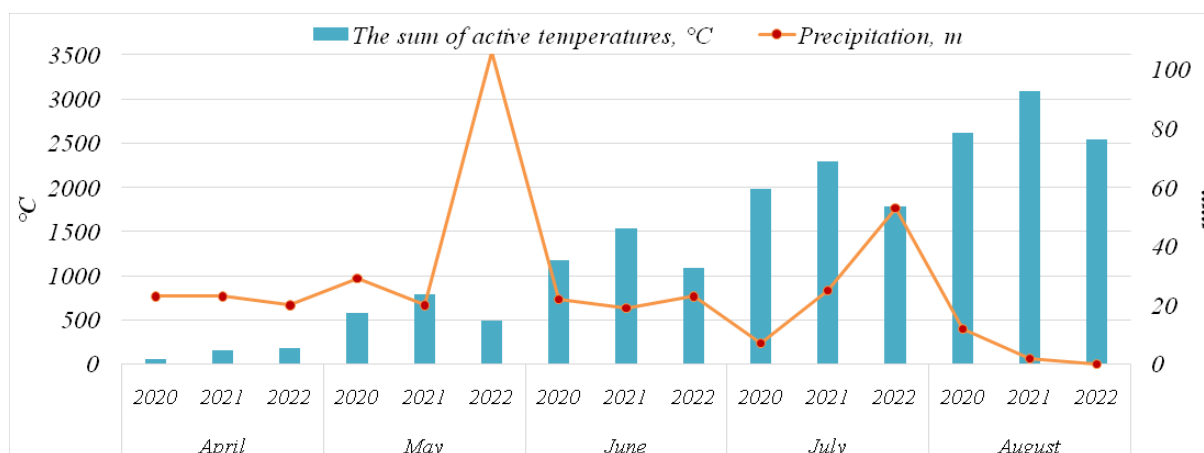


Fig. 1. Weather conditions of the growing seasons from bud break to full ripening of grape varieties, 2020–2022

Зима 2020–2021 гг. была мягкой, с оттепелями. Снежный покров составлял 38 см, промерзание почвы – 63 см, температура опускалась до –25 °С. Период зимнего покоя благоприятно складывался для растений винограда под укрытием.

Зимний период 2020–2021 гг. характеризовался рядом неблагоприятных для растений метеоусловий. Резкие перепады при полном бесснежье отмечены в начале зимы. Снежный покров составлял 34 см, почва промерзала до 123 см при норме 114 см. Длительный бесснежный период и низкие температуры до –31 °С не оказывали негативного воздействия на общее состояние растений.

Зима 2021–2022 года относительно суровая, температура опускалась ниже –30 °С. В период вынужденного покоя промерзание почвы было незначительное – 78 см, а снежный покров составлял 36 см, сорта винограда не испытывали под укрытием почвы отрицательного воздействия зимнего периода, повреждение глазков, плодовых лоз не выявлено.

Сумма активных температур (выше +10 °С) за вегетационные периоды исследований 2020–2022 гг. (апрель – август) в разные годы зафиксирована от 2496 до 3093 °С, что позволяло сортам очень раннего (сумма активных температур 2200–

2400 °С за 110–120 суток) и раннего срока созревания (сумма активных температур 2400–2500 °С за 120–130 суток) благоприятно проходить период от распускания почек до полной зрелости урожая. Вегетационный период 2020 г. характеризовался более влажными условиями, сумма активных температур составляла 2496 °С, что повлияло на сроки полного созревания отдельных сортов винограда. Самым жарким оказался вегетационный период 2021 г., сумма активных температур составляла 3093 °С на конец августа с минимальным количеством осадков, что благоприятно отражалось на созревании плодов винограда. 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. Сумма активных температур за вегетационный период составляла 2749 °С, что позволило сортам винограда своевременно завершить вегетационный период (рис. 1).

Результаты (Results)

В ходе многолетней агробиологической оценки сортов винограда генетической коллекции Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства и ре-

зультатов фенологических наблюдений (таблица 2) установлено, что в условиях региона у растений этой культуры одновременно с большим жизненным циклом ежегодно проходит и малый годичный цикл развития. Годичный цикл развития связан со сменой времен года и складывается из двух периодов: вегетации и относительного (зимнего) покоя.

Известно, что в процессе роста и развития растения винограда находятся в постоянном взаимодействии с условиями внешней среды, от которых в значительной степени зависит их общее состояние и продуктивность. Сорта винограда разных сроков созревания требуют разную сумму активных температур для успешного прохождения вегетационного периода [18].

На основе проведенных исследований установлено, что в условиях Южного Урала начало распускания почек у изученных сортов винограда происходит с 25 по 30 апреля. Период от распускания почек до полной зрелости ягод наступает раньше и проходит на 4–7 суток короче у сортов очень раннего срока созревания (Алешенькин Дар, Белое Чудо, Восторг и Супер Экстра) по сравнению с сортами раннего срока созревания (Августин, Лора (Флора) и Аркадия) (таблица 3).

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. привели к неравномерному созреванию плодов сорта винограда Светлана, в связи с чем в условиях Южного Урала его можно отнести к среднему сроку созревания с продолжительностью вегетационного периода 131 сутки при сумме активных температур 2600–2800 °С. У остальных изучаемых сортов созревание было дружным и соответствовало сортовой специфике.

Оценка общего состояния насаждений винограда проводилась глазомерно и у всех изучаемых сортов за годы наблюдений составила 4,5–5,0 балл, кусты были здоровые, на отплодоносившей лозе побеги полноценные, их сохранность составляла 90–100 %.

В ходе изучения сортов были оценены показатели продуктивности растений. Среднее количество гроздей варьировало от 9,0 до 13,0 шт. на куст в зависимости от сорта. По уровню первого компонента продуктивности в среднем за три года изучения с максимальным количеством гроздей выделен сорт Августин (13 шт. на куст). На уровне контрольного варианта (Алешенькин Дар – 9 шт. на куст) по количеству гроздей отмечены сорта Белое Чудо, Восторг, Светлана. Остальные сорта превзошли контроль на 11,1–33,3 % (таблица 4).

Важным показателем продуктивности является масса грозди, которая зависит от многих факторов: биологических особенностей сорта, возраста насаждений, погодных условий и др. В ходе проведенных исследований показатель средней массы грозди варьировал от 238,0 до 317,0 г. Масса грозди на уровне контрольного варианта (Алешенькин Дар – 262,0 г) отмечена у сорта Восторг, выше – у сортов Лора (Флора) на 20,9 % и Аркадия на 8,2 %. Ниже контрольного варианта масса грозди была у сортов Белое Чудо и Супер Экстра (на 9,2 и 1,9 % соответственно).

Наибольшее превышение контроля по массе ягоды (4,3 г) отмечено у сортов Лора (Флора) (на 46,5 %) и Аркадия (на 44,2 %). У остальных сортов этот показатель тоже превышал контроль и варьировал от 4,8 до 5,2 г.

Таблица 3

Сумма активных температур для разных групп сортов винограда, 2020–2022 гг.

Наименование сорта	Сумма температур от распускания почек до полной зрелости ягод	Число суток от распускания почек до полной зрелости ягод
Очень раннего срока созревания (норма 110–120 суток)		
Алешенькин Дар (К), Белое Чудо, Восторг, Супер Экстра	2200–2400 °С	113–119
Раннего срока созревания (норма 120–130 суток)		
Августин, Аркадия, Лора (Флора)	2400–2500 °С	120–123
Среднего срока созревания (норма 130–145 суток)		
Светлана	2600–2800 °С	131

Table 3
The duration of the growing season of grape varieties 2020–2022

Grape varieties	Sum of temperatures from bud break to full maturity	Number of days from bud break to full maturity
Very early ripening (norm 110–120 days)		
Aleshen'kin Dar (C), Beloe Chudo, Vostorg, Super Ekstra	2200–2400 °С	113–119
Early ripening (norm 120–130 days)		
Avgustin, Arkadiya, Lora (Flora)	2400–2500 °С	120–123
Average ripening period (norm 130–145 days)		
Svetlana	2600–2800 °С	131

Таблица 4
Показатели продуктивности сортов винограда (2020–2022 гг.)

Наименование сорта	Количество гроздей, шт/куст	Средняя масса грозди, г	Масса ягоды, г
Алешенькин Дар (К)	9,0	262,0	4,3
Августин	13,0	267,0	4,8
Аркадия	10,0	312,0	6,2
Белое Чудо	9,0	238,0	5,1
Восторг	9,0	263,0	5,2
Лора (Флора)	12,0	317,0	6,3
Супер Экстра	10,0	257,0	5,0
Светлана	9,0	278,0	5,1
HCP ₀₅	–	25,4	–

Table 4
Productivity indicators of grape varieties (2020–2022)

Name of varieties	Number of bunches, pcs/bush	Average bunch weight, g	Berry weight, g
Aleshen'kin Dar (C)	9.0	262.0	4.3
Avgustin	13.0	267.0	4.8
Arkadiya	10.0	312.0	6.2
Beloe Chudo	9.0	238.0	5.1
Vostorg	9.0	263.0	5.2
Lora (Flora)	12.0	317.0	6.3
Super Ekstra	10.0	257.0	5.0
Svetlana	9.0	278.0	5.1
LSD ₀₅	–	25.4	–

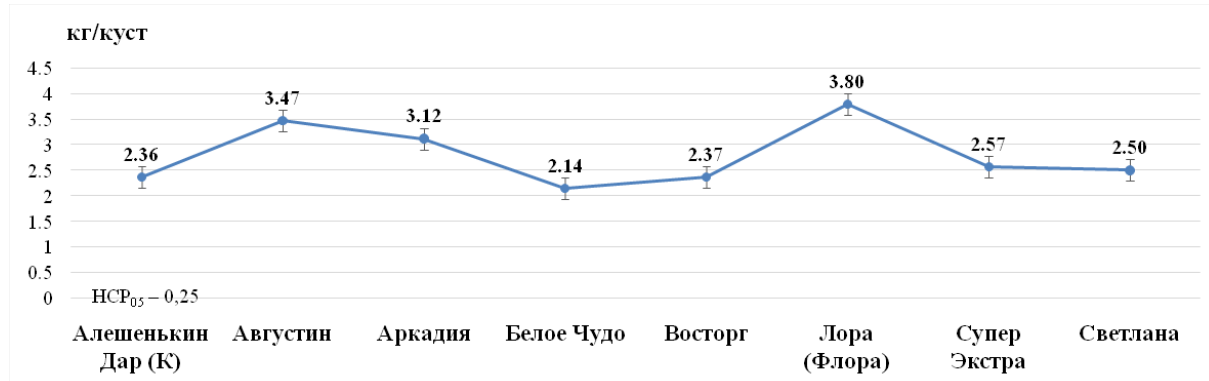


Рис. 2. Продуктивность столовых белоягодных сортов винограда, кг/куст (2020–2022 гг.).

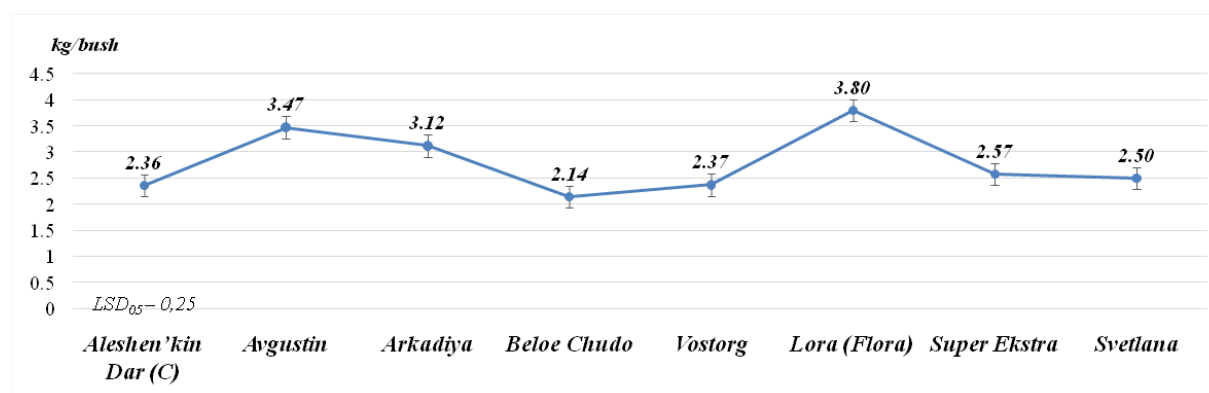


Fig. 2. Productivity of table white-berry grape varieties, kg/bush (2020–2022)

Самая высокая продуктивность отмечена у сорта Лора (Флора) – 3,80 кг/куст (рис. 2), она превышала контрольный вариант (Алешенькин Дар – 2,36 кг/куст) на 61,0 %. У двух других наиболее

продуктивных сортов Августин и Аркадия этот показатель превысил контроль на 47 и 32 % и соответственно.

Урожайность столовых белоягодных сортов винограда, ц/га

Наименование сорта	2020 г	2021 г	2022 г	Среднее по годам, ц/га	Отклонение от контроля, %
Алешенькин Дар (К)	51,9	53,8	50,0	51,9	–
Августин	76,4	76,9	75,6	76,3	47,0
Аркадия	69,0	69,5	67,3	68,6	32,2
Белое Чудо	46,8	48,7	45,8	47,1	–9,2
Восторг	52,8	53,6	49,9	52,1	0,4
Лора (Флора)	84,4	84,1	82,3	83,6	61,1
Супер Экстра	57,2	57,1	55,2	56,5	8,9
Светлана	55,6	55,5	53,9	55,0	5,9
HCP ₀₅	–	–	–	4,91	–

Table 5

Yield of table white-berry grape varieties, c/ha

Name of varieties	2020	2021	2022	Average by years, c/ha	Deviation from control, %
<i>Aleshen'kin Dar (C)</i>	51.9	53.8	50.0	51.9	–
<i>Avgustin</i>	76.4	76.9	75.6	76.3	47.0
<i>Arkadiya</i>	69.0	69.5	67.3	68.6	32.2
<i>Beloe Chudo</i>	46.8	48.7	45.8	47.1	–9.2
<i>Vostorg</i>	52.8	53.6	49.9	52.1	0.4
<i>Lora (Flora)</i>	84.4	84.1	82.3	83.6	61.1
<i>Super Ekstra</i>	57.2	57.1	55.2	56.5	8.9
<i>Svetlana</i>	55.6	55.5	53.9	55.0	5.9
LSD ₀₅	–	–	–	4.91	–

Сорт Супер Экстра отмечен несущественным отклонением от контрольного варианта. Продуктивность сорта Белое Чудо была ниже контрольного сорта на 9,3 %.

В результате исследований определен показатель урожайности с 1 га, который менялся в диапазоне от 47,1 до 83,6 ц/га. В сравнении с контрольным сортом (Алешенькин Дар – 51,9 ц/га) высокий урожай с 1 га был получен у сортов Лора (Флора) на 61,1 %, Августин – на 47,0 %, Аркадия на 32 % (таблица 5).

Средний показатель урожайности, превышающий контрольный сорт, отмечен у сортов Супер Экстра на 8,9 %, Светлана на 5,9 % и Восторг на 0,4 %. Ниже контрольного сорта показатель урожайности составил у сорта Белое Чудо (на 9,2 %).

Практической ценностью сорта винограда является его устойчивость к различным грибным заболеваниям. От многих факторов зависит степень вредоносности заболеваний, важнейшими из них являются погодные условия вегетационного периода и устойчивость сорта. Болезни и вредители винограда при массовом распространении могут уменьшать урожайность на 20–30 %, также снижается качество продукции, сокращается долговечность насаждений. Вегетационные периоды за годы исследований варьировали по водно-температурному режиму, что позволило оценить восприимчивость изучаемых сортов к болезням и вредителям.

За три года изучения подобные условия складывались в 2022 г. В первой половине июля шло быстрое нарастание температуры (средняя температура июля +22,6 °С, максимальная +35 °С). За счет выпадения осадков отмечалась высокая влажность, что привело к развитию оидиума (возбудитель – сумчатый гриб *Uncinula necator* Burill).

В зависимости от сорта, метеорологических условий года, возраста растений степень поражения оидиумом (настоящей мучнистой росой) составила 1 балл у сорта Алешенькин Дар и 1,5 балла – у сорта Супер Экстра, у остальных изучаемых сортов грибное заболевание не зафиксировано. Вредителей за годы исследований не выявлено.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Продолжительная адаптация растений винограда привела к отбору столовых сортов по срокам созревания, соответственно, с более крупной гроздью и ягодой. На основании анализа научных статей и этой информации необходимо выявить столовые белоягодные сорта винограда по продуктивности, урожайности и устойчивости к стресс факторам биотической и абиотической природы, произрастающих в условиях Южного Урала. В результате полученных экспериментальных данных и фенологических наблюдений можно сделать выводы, что для возделывания в условиях Южного Урала пригодны сорта винограда очень раннего и раннего срока созревания, у которых от распускания до полной

зрелости ягод проходит 110–130 суток. За годы исследований общее состояние изучаемых растений было высоким (4,5–5,0 балла) у сортов Августин, Аркадия, Белое Чудо, Восторг, Лора (Флора), Светлана, кусты оставались здоровыми, побеги – полноценными, их сохранность составляла 90–100 %. Сопоставление продуктивности исследуемых столовых белоягодных сортов винограда позволило выделить высококачественный перспективный сорт Лора (Флора) со средней массой грозди 317,0 г при массе ягоды 6,3 г, продуктивность составляла 3,80 кг с куста. Урожайность с 1 га выше контроль-

ного сорта на 61,1 % была получена у сорта Лора (Флора), его можно рекомендовать для использования в селекционной работе и промышленном производстве.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания ФГБНУ ФНЦ Садоводства № 0432-2021-0003 «Сохранить, пополнить, изучить генетические коллекции сельскохозяйственных растений и создать репозитории плодовых и ягодных культур, заложенные свободными от вредоносных вирусов растениями».

Библиографический список

1. Nameed U. K. A., Abdelaziz K., El Sherif N. Genetic Diversity of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Cultivars in Al-Madinah Al-Munawara Based on Molecular Markers and Morphological Traits // Bangladesh Journal of Plant Taxonomy. 2020. No. 27. Pp 113–127.
2. Zahedi S. M., Karimi M., Teixeira da Silva J. A. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. No. 100 (1). Pp. 25–31. DOI: 10.1002/jsfa.10004.
3. Трошин Л. П., Кравченко Р. В., Матузок Н. В., Радчевский П. П., Горлов С. М. Агробиологическая оценка перспективных белоягодных сортов винограда в условиях Анапо-Таманской зоны Краснодарского края // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21. № 2 С. 102–104. DOI: 10.35547/IM.2019.21.2.004.
4. Исаенко А. П. Оценка развития виноградарства и виноделия в России // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2020. № 3 (265). С. 37–43.
5. Салимов В. С., Гусейнова А. С., Гусейнзаде Н. Я., Гусейнова Т. Г., Джафаргулиев Э. Г. Определение фенотипической изменчивости в вегетативном поколении некоторых ценных протоклонов винограда и отбор форм с устойчивыми признаками // Виноделие и виноградарство. 2022. № 1. С. 4–15.
6. Тихонова М. А., Аминова Е. В., Мережко О. Е. Продуктивность и урожайность столовых сортов и форм винограда в условиях Оренбуржья // Русский виноград. 2020. Т. 12. С. 18–23.
7. Ганич В. А., Наумова Л. Г., Матвеева Н. В. Донские автохтонные сорта винограда для расширения сортифта виноградных насаждений в Нижнем Придону // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 63 (3). С. 30–44.
8. Тастанбекова Г. Р., Даулетова Л. Т., Мендибаев Б. Ш. Зимостойкость интродуцированных сортов столового винограда в условиях сероземов юга Казахстана // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 8-2 (64). С. 67–70.
9. Villano C. et al. DNA-Based Technologies for Grapevine Biodiversity Exploitation: State of the Art and Future Perspectives // Agronomy. 2022. No. 12 (2). 491. DOI: 10.3390/agronomy 12020491.
10. Соболев В. И., Носкова Н. Е., Носкова М. А. [и др.] Проявление сортовой специфичности в культуре апикальных меристем винограда, адаптированного на юге Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2020. № 7 (160). С. 31–37.
11. Matuzok N. V., Troshin L. P., Kravchenko R. V., Gish R. A., Milovanov A. V. Evaluation of commercial grape varieties with various methods of vine forming Annals of // Agri Bio Research. 2021. No. 26 (1). Pp. 37–42.
12. Керанова Н. Т., Ройчев В. Р. Сравнительный анализ плодородности и урожайности винных белых сортов винограда // Русский виноград. 2022. Т. 19. С. 45–52.
13. Полулях А. А., Волынкин В. А. Характеристика продуктивности и качества урожая столовых сортов *Vitis vinifera orientalis* Negr. // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. № 21 (3). С. 211–216.
14. Milovanov A. V., Ilnitskaya E. T., Radchenko V. V., Troshin L. P., Koshchaev A. G. Comparative analysis of the vvmbyal locus allelic state in some indigenous and introduct grapevine varieties // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2020. No. 55 (3). Pp. 523–532.
15. Тихонова М. А., Мушинский А. А. Оценка биоморфологических особенностей интродуцированных сортов винограда в условиях Оренбуржья // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10. С. 43–48. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-43-48.
16. Романенко Е. С., Миронова Е. А., Селиванова М. В., Айсанов Т. С., Герман М. С. Оценка сортов винограда для возделывания в зоне Терско-Кумские пески Ставропольского края // Вестник АПК Ставрополя. 2021. № 3 (43). С. 36–40.
17. Лазаревский М. А. Изучение сортов винограда. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1963. 151 с.

18. Негруль А. М. Виноградарство с основами ампелографии и селекции. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1959. 392 с.

19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям. Москва: Альянс, 2011. 352 с.

Об авторах:

Марина Александровна Тихонова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-4082-0244, AuthorID 757784; +7922546-36-58, marintikhonova@yandex.ru

¹Оренбургский филиал ФГБНУ ФНЦ Садоводства, Оренбург, Россия

Promising white-berry table grape varieties (*Vitis L.*) in the conditions of the Southern Urals

М. А. Tikhonova¹✉

¹Orenburg branch of the Federal State Budget Scientific Institution of the Federal Scientific Center for Horticulture, Orenburg, Russia

✉E-mail: marintikhonova@yandex.ru

Abstract. **The purpose.** To identify promising white-berry table grape varieties according to biotic and abiotic environmental factors, productivity and yield in the conditions of the Southern Urals for use in breeding and industrial production. **Methods.** The article presents the results of a study of economically valuable traits of 8 table white-berry grape varieties carried out according to the methods of M. A. Lazarevskiy and A. M. Negrul. Planting scheme 1.5 × 3 m, accounting plants 9 pcs. for each variety. The culture is covering, the formation of bushes is fan-shaped, stemless. Agricultural technology is generally accepted for irrigated vineyards, taking into account the weather conditions of the region. Statistical data processing was carried out by the dispersion method according to B. A. Dospikhov. **Scientific novelty.** The expediency and prospects of growing a number of white-berry table grape varieties of early and very early ripening in the conditions of the Southern Urals have been established. The grape variety Lora (Flora) is singled out as the most adapted, productive and productive, which is of value for use in breeding work and industrial production. According to **the results** of a study conducted in 2020–2022. it has been established that grape varieties of very early and early ripening period are suitable for the conditions of the Southern Urals, in which 110–130 days pass from blooming to full ripeness of berries. Over the years of research, the general condition of the studied plants was high – 4.5–5.0 points in the varieties Avgustin, Arkadiya, Beloe Chudo, Vostorg, Lora (Flora), Svetlana, the bushes remained healthy, the shoots were full, their safety was 90–100 %. Comparison of the productivity of the studied table white-berry grape varieties made it possible to identify a high-quality promising variety Lora (Flora), the average weight of a bunch is 317.0 g with a berry weight of 6.3 g, the productivity was 3.8 kg per bush. Yields per hectare higher than the control variety by 61.1 % were similarly obtained in the Lora (Flora) variety, this grape variety is of value for use in breeding work and industrial production.

Keywords: grape varieties, ripening period, average weight of berries, bush productivity, shoot, safety, adaptability.

For citation: Tikhonova M. A. Perspektivnye beloyagodnye stolovye sorta vinograda (*Vitis L.*) v usloviyakh Yuzhnogo Urala [Promising white table grape varieties (*Vitis L.*) in the conditions of the Southern Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 105–114. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-105-114. (In Russian.)

Date of paper submission: 30.01.2023, **date of review:** 06.03.2023, **date of acceptance:** 03.04.2023.

References

1. Hameed U. K. A., Abdelaziz K., El Sherif N. Genetic Diversity of Grapevine (*Vitis vinifera L.*) Cultivars in Al-Madinah Al-Munawara Based on Molecular Markers and Morphological Traits // Bangladesh Journal of Plant Taxonomy. 2020. No. 27. Pp 113–127.
2. Zahedi S. M., Karimi M., Teixeira da Silva J. A. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. No. 100 (1). Pp. 25–31. DOI: 10.1002/jsfa.10004.
3. Troshin L. P., Kravchenko R. V., Matuzok N. V., Radchevskiy P. P., Gorlov S. M. Agrobiologicheskaya otsenka perspektivnykh beloyagodnykh sortov vinograda v usloviyakh Anapo-Tamanskoy zony Krasnodarskogo kraya [Agrobiological assessment of promising white-berry grape varieties in the conditions of the Anapo-Taman zone of

- the Krasnodar Territory] // *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*. 2019. T. 21. No. 2. Pp. 102–104. DOI: 10.35547/IM.2019.21.2.004. (In Russian.)
4. Isaenko A. P. Otsenka razvitiya vinogradarstva i vinodeliya v Rossii [Evaluation of the development of viticulture and winemaking in Russia] // *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5: Ekonomika*. 2020. No. 3 (265). Pp. 37–43. (In Russian.)
 5. Salimov V. S., Guseynova A. S., Guseynzade N. Ya., Guseynova T. G., Dzhafarguliev E. G. Opredelenie fenotipicheskoy izmenchivosti v vegetativnom pokolenii nekotorykh tsennykh protoklonov vinograda i otbor form s ustoychivymi priznakami [Determination of phenotypic variability in the vegetative generation of some valuable proto-clones of grapes and selection of forms with stable traits] // *Vinodelie i vinogradarstvo*. 2022. No. 1. Pp. 4–15. (In Russian.)
 6. Tikhonova M. A., Aminova E. V., Merezhko O. E. Produktivnost' i urozhaynost' stolovykh sortov i form vinograda v usloviyakh Orenburzh'ya [Productivity and productivity of table varieties and forms of grapes in the Orenburg region] // *Russkiy vinograd*. 2020. Vol. 12. Pp. 18–23. (In Russian.)
 7. Ganich V. A., Naumova L. G., Matveeva N. V. Donskie avtokhtonnye sorta vinograda dlya rasshireniya sortimenta vinogradnykh nasazhdeniy v Nizhnem Pridon'ye [Don autochthonous grape varieties for expanding the range of vine plantations in the Lower Don region] // *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2020. No. 63 (3). Pp. 30–44. (In Russian.)
 8. Tastanbekova G. R., Dauletova L. T., Mendibaev B. Sh. Zimostoykost' introdutsirovannykh sortov stolovogo vinograda v usloviyakh serozemov yuga Kazakhstana [Winter hardiness of introduced varieties of table grapes in the gray soils of the south of Kazakhstan] // *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2020. No. 8-2 (64). Pp. 67–70. (In Russian.)
 9. Villano C. et al. DNA-Based Technologies for Grapevine Biodiversity Exploitation: State of the Art and Future Perspectives // *Agronomy*. 2022. No. 12 (2). 491. DOI: 10.3390/agronomy 12020491.
 10. Sobolev V. I., Noskova N. E., Noskova M. A. et al. Proyavlenie sortovoy spetsifichnosti v kul'ture apikal'nykh meristem vinograda, adaptirovannogo na yuge Krasnoyarskogo kraya [Manifestation of varietal specificity in the culture of apical meristems of grapes adapted in the south of the Krasnoyarsk Territory] // *Vestnik KrasGAU*. 2020. No. 7 (160). Pp. 31–37. (In Russian.)
 11. Matuzok N. V., Troshin L. P., Kravchenko R. V., Gish R. A., Milovanov A. V. Evaluation of commercial grape varieties with various methods of vine forming *Annals of // Agri Bio Research*. 2021. No. 26 (1). Pp. 37–42.
 12. Keranova N. T., Roychev V. R. Sravnitel'nyy analiz plodonosnosti i urozhaynosti vinnykh belykh sortov vinograda [Comparative analysis of fruitfulness and productivity of white wine grape varieties] // *Russkiy vinograd*. 2022. Vol. 19. Pp. 45–52. (In Russian.)
 13. Polulyakh A. A., Volynkin V. A. Kharakteristika produktivnosti i kachestva urozhaya stolovykh sortov Vitis vinifera orientalis Negr [Characterization of the productivity and quality of the harvest of table varieties Vitis vinifera orientalis Negr] // *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*. 2019. No. 21 (3). Pp. 211–216. (In Russian.)
 14. Milovanov A. V., Ilnitskaya E. T., Radchenko V. V., Troshin L. P., Koshchayev A. G. Comparative analysis of the vmybal locus allelic state in some indigenous and introductant grapevine varieties // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2020. No. 55 (3). Pp. 523–532.
 15. Tikhonova M. A., Mushinskiy A. A. Otsenka biomorfologicheskikh osobennostey introdutsirovannykh sortov vinograda v usloviyakh Orenburzh'ya [Assessment of biomorphological features of introduced grape varieties in the conditions of the Orenburg region] // *Vestnik KrasGAU*. 2022. No. 10. Pp. 43–48. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-43-48. (In Russian.)
 16. Romanenko E. S., Mironova E. A., Selivanova M. V., Aysanov T. S., German M. S Otsenka sortov vinograda dlya vozdeleyvaniya v zone Tersko-Kumskie peski Stavropol'skogo kraya [Evaluation of grape varieties for cultivation in the Tersko-Kuma sands of the Stavropol Territory] // *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2021. No. 3 (43). Pp. 36–40. (In Russian.)
 17. Lazarevskiy M. A. Izuchenie sortov vinograda [The study of grape varieties]. Rostov-on-Don: Izd-vo Rostovskogo universiteta, 1963. 151 p. (In Russian.)
 18. Negrul' A. M. Vinogradarstvo s osnovami ampelografii i seleksii. [Viticulture with the basics of ampelography and selection]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy literatury, 1959. 392 p. (In Russian.)
 19. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy po agronomicheskim spetsial'nostyam [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results): uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy po agronomicheskim spetsial'nostyam]. Moscow: Al'yans. 2011. 352 p. (In Russian.)

Authors' information:

Marina A. Tikhonova¹, candidate of biological sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-4082-0244, AuthorID 757784; +7 922 546-36-58, marintikhonova@yandex.ru

¹ Orenburg Branch of the Federal State Budgetary Research Center of Horticulture, Orenburg, Russia

Содержание биологически активных веществ в вегетативной массе очитков (*Sedoideae*)

Т. И. Фомина[✉], Т. А. Кукушкина¹

¹Центральный сибирский ботанический сад, Новосибирск, Россия

✉E-mail: fomina-ti@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – определить содержание основных групп биологически активных веществ в вегетативной массе 10 видов очитков в разные фазы сезонного развития. **Методы.** Исследовали свежесобранное сырье – вегетативные побеги следующих видов: *Aizopsis aizoon* (L.) Grulich, *A. hybrida* (L.) Grulich, *A. kurilensis* (Vorosch.) S. Gontch., *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba, *Sedum acre* L., *S. album* L., *S. hispanicum* L., *S. reflexum* L., *S. rupestre* L. и *S. spurium* M. Bieb. Использовали общепринятые методы фитохимического анализа. Содержание сухих веществ определяли высушиванием 1 г сырья до постоянной массы. Количество фенольных соединений, пектиновых веществ, общих сахаров определяли спектрофотометрически, сапонинов – весовым методом в этанольных экстрактах, рассчитывая показатели на массу абсолютно сухого сырья. Концентрацию аскорбиновой кислоты определяли в сырой массе сырья титриметрическим методом. **Научная новизна.** Количественное содержание сухих веществ, катехинов, флавонолов, пектиновых полисахаридов в вегетативной массе очитков определено впервые. Установлена динамика содержания основных групп вторичных метаболитов от фазы цветения к концу вегетации. **Результаты.** Установлено, что вегетативная масса очитков содержит сухих веществ – до 19,74 %, флавонолов – до 2,38 %, танинов – до 19,35%, сапонинов – до 22,97%, пектиновых полисахаридов – до 9,9 %, общих сахаров – до 41,55 %, аскорбиновой кислоты – до 112,8 мг%; количество катехинов не превышает 3,15 мг%. Выявлена тенденция к накоплению флавонолов, сапонинов, пектиновых веществ в фазу цветения летом, а сахаров, танинов и сухих веществ – в конце вегетации осенью. Наиболее высоким содержанием основных групп биологически активных веществ отличаются виды *Aizopsis*, *S. spurium*, *S. hispanicum*. Полученные данные свидетельствуют о перспективах культивирования очитков как источника различных биоактивных соединений.

Ключевые слова: *Sedoideae*, очитки, биологически активные вещества, вегетативная масса, сезонное развитие.

Для цитирования: Фомина Т. И., Кукушкина Т. А. Содержание биологически активных веществ в вегетативной массе очитков (*Sedoideae*) // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 115–124. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-115-124.

Дата поступления статьи: 16.01.2023, **дата рецензирования:** 10.03.2023, **дата принятия:** 13.03.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Широко распространенное название «очитки» для группы растений подсемейства очитковых (*Sedoideae*) семейства толстянковых (*Crassulaceae*) в настоящее время включает представителей трех родов: живучник – *Aizopsis* Grulich, очитник – *Hylotelephium* H. Ohba и очиток – *Sedum* L. [1; 2]. Очитки издавна применяются в народной и традиционной медицине, гомеопатии разных стран благодаря кровоостанавливающим, ранозаживляющим и противовоспалительным свойствам, особенно свежего сока растений. Настои и экстракты из надземной части очитков используются в качестве гипотензивного средства, при эпилепсии, простудах, наружно – для лечения ран, ожогов, геморроя и кожных болезней. Из представителей отечественной флоры наиболее известны целебными свойствами

Hylotelephium maximum (внесен в реестр лекарственных средств РФ), *H. triphyllum* (*H. purpureum*), *Aizopsis aizoon*, *A. hybrida*, *Sedum acre*, *S. spurium*.

Кроме использования в качестве лекарственных средств, очитки ценятся как медоносы и кормовые растения, а вегетативные побеги некоторых видов используются в пищу. Очитки культивируются в различных эколого-географических условиях как декоративные многолетники из-за привлекательного облика и выносливости [3]. Почвопокровные очитки перспективны, в частности, для озеленения крыш, что позволяет снизить техногенную нагрузку в городской среде и улучшить условия произрастания для других видов [4].¹

¹ Мочалов И. В., Миненко И. А., Бенуж А. А. Способ озеленения крыш. Россия; патент № RU 2734589 С1; 2020. Заявл. 08.10.2019. Оpubл. 20.10.2020.

Современные исследования подтверждают высокую противомикробную и антиоксидантную активность экстрактов из надземных органов очитков [5; 6], которая обусловлена содержанием комплекса биологически активных веществ. Прежде всего, это фенольные соединения (флавоноиды, танины, органические кислоты, арбутин) и терпены. Также в растениях очитков присутствуют сахара, кумарины, небольшие количества алкалоидов. Анализ микроэлементного состава показал способность очитков накапливать Mn, необходимый для синтеза в растениях аскорбиновой кислоты, танинов и других вторичных метаболитов. Установлено, что очитки являются гипераккумуляторами ионов тяжелых металлов, особенно Zn и Cd, поэтому могут использоваться для фиторемедиации загрязненных почв [7].

Большинство очитков принадлежат к широко распространенным растениям, легко размножаются вегетативным способом и быстро разрастаются, особенно почвопокровные виды, что делает их доступным потенциальным источником сырья для получения лекарственных препаратов и натуральных биодобавок. Между тем в литературе отмечается недостаточная изученность фитохимического состава очитков, ограничивающая их использование в фармакологии и медицине [8]. Доступные сведения по количественному содержанию, а также динамике групп биологически активных соединений в течение периода вегетации у различных очитков весьма ограничены.

Цель исследования – определить содержание основных групп биологически активных веществ в вегетативной массе 10 видов очитков в разные фазы сезонного развития.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование выполнено в коллекции декоративных видов природной флоры Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск) в 2019 г. Объектами послужили очитки, относящиеся к трем родам: *Aizopsis* (живучник) – *A. aizoon* (L.) Grulich, *A. hybrida* (L.) Grulich, *A. kurilensis* (Vorosch.) S. Gontch.; *Hylotelephium* (очитник) – *H. ewersii* (Ledeb.) H. Ohba; *Sedum* L. (очиток) – *S. acre* L., *S. album* L., *S. hispanicum* L., *S. reflexum* L., *S. rupestre* L., *S. spurium* M. Bieb. (рис. 1). В условиях ботанического сада растения очитков выращиваются на открытом участке с естественным увлажнением и легкими оподзоленными почвами. Агротехнические мероприятия включают мульчирование посадок торфом и регулярные прополки в течение вегетационного периода.

Фитохимическому анализу подвергали свежесобранные вегетативные побеги, летом (в период цветения растений) и в конце сезона. В условиях Западной Сибири изученные виды длительно вегетируют. Большинство их относится к весенне-летне-зимнезеленым хамефитам: побеги перезимовывают

надземно с почками и зелеными листьями (целиком или листья сохраняются только на верхушках стеблей). *A. aizoon* и *H. ewersii* – весенне-летнезеленые гемикриптофиты: первый заканчивает вегетацию в середине сентября, второй вегетирует до сильных заморозков в октябре.

Для определения содержания групп биологически активных веществ использовали общепринятые методики биохимического анализа. Содержание сухих веществ определяли высушиванием 1 г сырья при температуре 100–105 °С до постоянной массы. Количество фенольных соединений (катехинов, флавонолов, танинов), пектиновых веществ, общих сахаров определяли спектрофотометрически в этанольных экстрактах.

Определение катехинов основано на их способности давать малиновое окрашивание с раствором ванилина в концентрированной соляной кислоте. Плотность раствора измеряли при длине волны 504 нм; содержание катехинов в пробе определяли по калибровочной кривой, построенной по (\pm)-катехину Sigma C-1788 (США). Определение флавонолов основано на реакции комплексообразования с хлоридом алюминия. Плотность раствора измеряли при длине волны 415 нм; концентрацию флавонолов рассчитывали по калибровочному графику, построенному по рутину. Содержание танинов (гидролизуемых дубильных веществ) определяли с использованием 2-процентного водного раствора аммония молибденовокислого. Интенсивность полученной окраски измеряли при длине волны 420 нм; расчет дубильных веществ производили по ГСО танина.

Для определения количества общих сахаров использовали метод, основанный на восстановлении феррицианида калия редуцирующими сахарами в щелочной среде до ферроцианида. Последний в присутствии желатина образует с сернокислым железом устойчивую синюю окраску, интенсивность которой измеряли при длине волны 690 нм; количество сахаров определяли по калибровочному графику, построенному по глюкозе.

Содержание пектиновых веществ (пектинов и протопектинов) определяли бескарбазольным методом, основанным на получении специфического желто-оранжевого окрашивания уроновых кислот с тимолом в сернокислой среде. Для получения воспроизводимых результатов из сырья удаляли сахара. Плотность растворов измеряли при длине волны 480 нм; количество пектиновых веществ рассчитывали по калибровочной кривой, построенной по галактуроновой кислоте. Концентрацию в пробах аскорбиновой кислоты определяли титриметрическим методом с использованием реакции Тильманса.

Содержание сапонинов определяли весовым методом. Около 2 г воздушно-сухого сырья экстрагировали хлороформом в аппарате Сокслета

до полного обесцвечивания для удаления липидов и смол. Затем образцы высушивали и экстрагировали на водяной бане при 70 °С последовательно 50-, 60-, 96-процентным этанолом, дважды каждой концентрацией, в течение 30 минут. Объединенный экстракт упаривали до 5 мл и прибавляли 7-кратный объем ацетона. Образовавшийся осадок через 18 часов отфильтровывали, высушивали при 70 °С, взвешивали и вычисляли содержание «сырого сапонины».

Все биохимические показатели, кроме аскорбиновой кислоты, рассчитаны на массу абсолютно сухого сырья. По каждому показателю дано среднее арифметическое значение из трех параллельных определений с ошибкой ($M \pm m_M$).

Результаты (Results)

Получены данные по количественному содержанию фенольных соединений (катехинов, флавонолов, танинов), аскорбиновой кислоты, сухих веществ, пектинов и протопектинов, сапонинов, общих сахаров в вегетативной массе очитков, культивируемых в условиях Новосибирска (таблицы 1, 2).

Установлено, что количество сухих веществ на межвидовом уровне варьирует значительно – от 5,9 % до 15,53 % летом и в пределах 6,71–19,74 % осенью. У видов, полностью сохраняющих лиственный покров на зиму (*S. album*, *S. hispanicum*, *S. rupestre*), оводненность тканей в конце сезона снижается, соответственно, увеличивается содержание сухих веществ. У *A. hybrida*, *A. kurilensis*, *S. spurium*, теряющих с наступлением холодов большую часть листьев, количество сухих веществ, напротив, уменьшается. Максимальные значения по их содержанию в течение сезона отмечены для *S. rupestre*.

Высокой биологической активностью отличается обширная группа фенольных соединений. Регулируя через различные механизмы клеточный метаболизм, они обеспечивают адаптацию растений к экологическим условиям, а на организм человека оказывают антиоксидантное и противовоспалительное воздействие [9]. Выявлено незначительное содержание катехинов у очитков: от 0,17 мг% до 3,15 мг% на сухую массу с наименьшими значе-

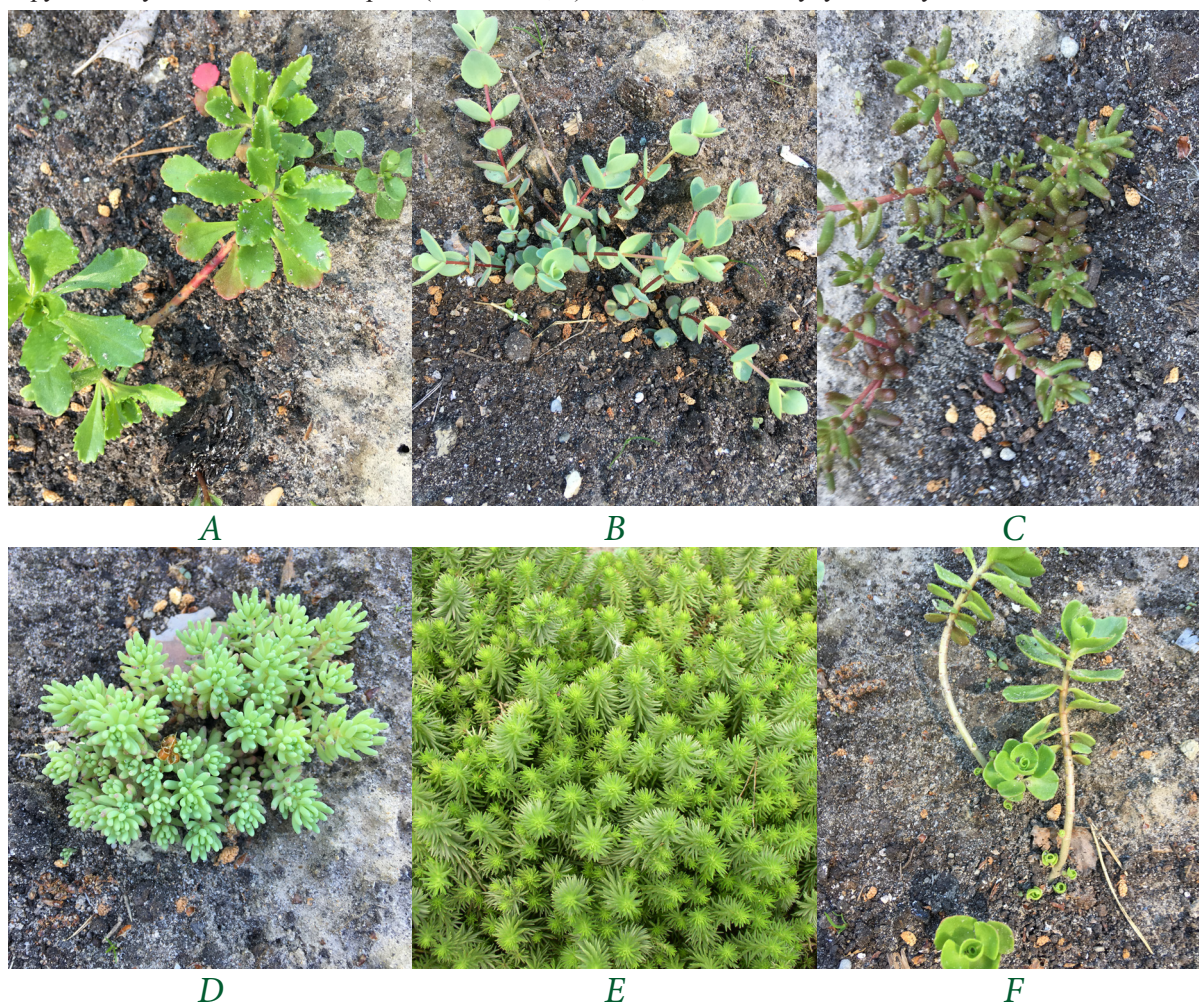


Рис. 1. Вегетативные побеги очитков: *Aizopsis hybrida* (A), *Hylotelephium ewersii* (B), *Sedum album* (C), *S. hispanicum* (D), *S. rupestre* (E), *S. spurium* (F)

Fig. 1. Vegetative shoots of stonecrops: *Aizopsis hybrida* (A), *Hylotelephium ewersii* (B), *Sedum album* (C), *S. hispanicum* (D), *S. rupestre* (E), *S. spurium* (F)

ниями для *S. album* и наибольшими для *S. rupestre*. Межвидовой диапазон значений показателя стабильный в течение сезона, тогда как индивидуальная изменчивость содержания катехинов (у разных видов в различные фазы развития) имеет разнонаправленный характер.

Количество флавонолов варьирует в пределах 0,80–2,38 % и в среднем выше в летний период. Сравнительно большим их накоплением отличаются *S. hispanicum* и *S. rupestre*. Вегетативная масса исследованных видов отличается высоким содержанием танинов: в летний период – до 16,75 %, осенью – до 19,35 %. Особенно богаты дубильными веществами листья и стебли *A. kurilensis*, *S. spurium*. В литературе приводятся более высокие значения: согласно источнику [10], количество танинов в листьях *S. acre* составляет 36,4 % на массу сухого сырья, а у *S. sexangulare* – 24,7 %.

Суммарное содержание фенольных соединений значительно варьирует на межвидовом уровне: от 7,37 % (*S. album*) до 23,13 % (*A. aizoon*) в фазу цветения, а осенью от 7,85 % (*S. acre*) и 7,89 % (*S. album*) до 22,72 % (*S. spurium*). При этом диапазон значений в течение сезона вполне стабильный, что отражает особенности метаболизма у этой группы растений. Высокое содержание полифенолов служит одним из факторов экологической пластичности видов, возможно, поэтому наибольшим уровнем их синтеза отличаются инорайонные виды очитков (*S. hispanicum*, *S. rupestre*, *S. spurium*, *A. kurilensis*) при адаптации к условиям лесостепи Западной Сибири. Показано, что противовирусный, антимикробный и антиоксидантный эффекты экстрактов из очитков обусловлен в значительной степени фенольным комплексом, особенно флавоноидами [11].

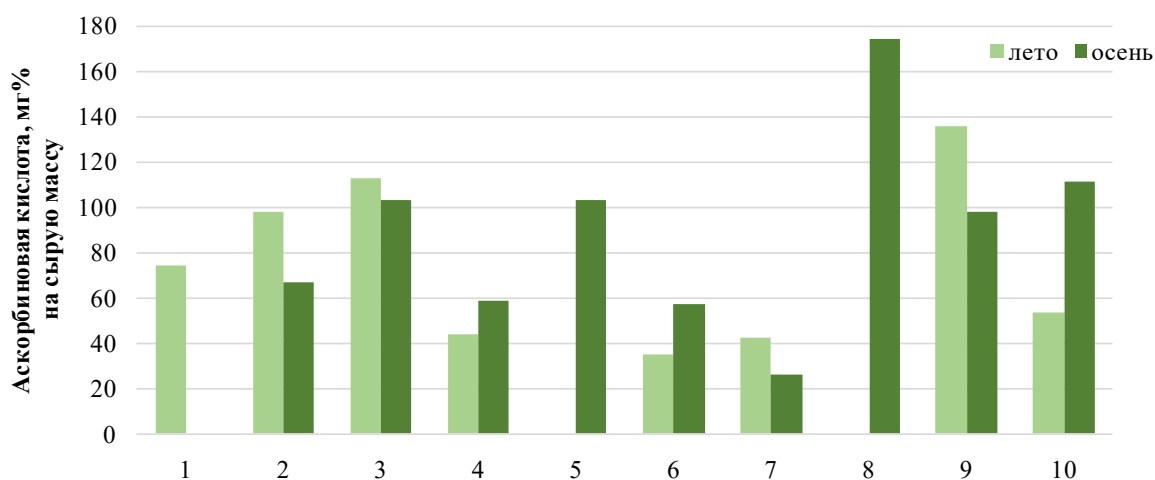


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты в вегетативной массе очитков, 2019 г.:
1 - *Aizopsis aizoon*, 2 - *A. hybrida*, 3 - *A. kurilensis*, 4 - *Hylotelephium ewersii*, 5 - *Sedum acre*, 6 - *S. album*,
7 - *S. hispanicum*, 8 - *S. reflexum*, 9 - *S. rupestre*, 10 - *S. spurium*

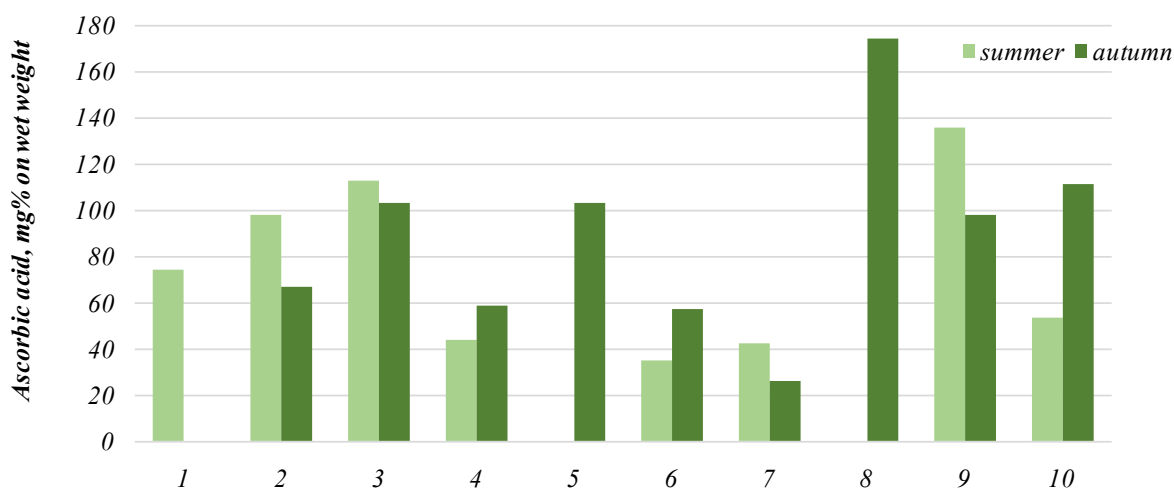


Fig. 2. Content of ascorbic acid in the vegetative mass of stonecrops, 2019:
1 - *Aizopsis aizoon*, 2 - *A. hybrida*, 3 - *A. kurilensis*, 4 - *Hylotelephium ewersii*, 5 - *Sedum acre*, 6 - *S. album*, 7 - *S. hispanicum*,
8 - *S. reflexum*, 9 - *S. rupestre*, 10 - *S. spurium*

Антиоксидантную активность растительных препаратов связывают также с высоким содержанием витамина С. По нашим данным, количество аскорбиновой кислоты в вегетативной массе очитков составляет от 42,49 % до 112,8 % (рис. 2). Причем содержание этого метаболита летом и осенью на межвидовом уровне стабильно, а у растений одного вида колеблется от небольших значений (1 % у *S. hispanicum*, 9 % у *A. kurilensis*) до существенных (у *S. spurium* показатель вдвое выше в конце сезона). Наибольший уровень синтеза аскорбиновой кислоты отмечен у *S. rupestre* и *A. kurilense* в фазу цветения.

Вегетативные побеги очитков богаты сахарами. Известно, что в водозапасающих тканях этих суккулентов присутствуют глюкоза, ксилоза, фруктоза, сахароза и раффиноза, а также характерный для толстянковых сахар – седогептулоза. У исследо-

ванных видов содержание общих сахаров летом, в вегетативной массе цветущих растений, варьирует от 12,09 % до 31,46 % (рис. 3). К концу вегетации отмечается накопление сахаров до 14,62–41,55 % в связи с их ролью в формировании зимостойкости. Максимальный уровень содержания сахаров в осенний период отмечен у *S. spurium*, *S. reflexum* и *S. acre*.

Сахара являются также метаболитами, участвующими в формировании засухоустойчивости. В исследовании [12] показано, что в условиях стресса, вызванного засухой, у чувствительных к ней видов синтез сахаров значительно возрастает (у *S. album* в 3,5 раза в сравнении с контролем), а у толерантных видов (*S. spurium*) не изменяется. В первом случае сахара, по-видимому, служат источником для поддержания метаболической активности клеток, подвергшихся стрессу.

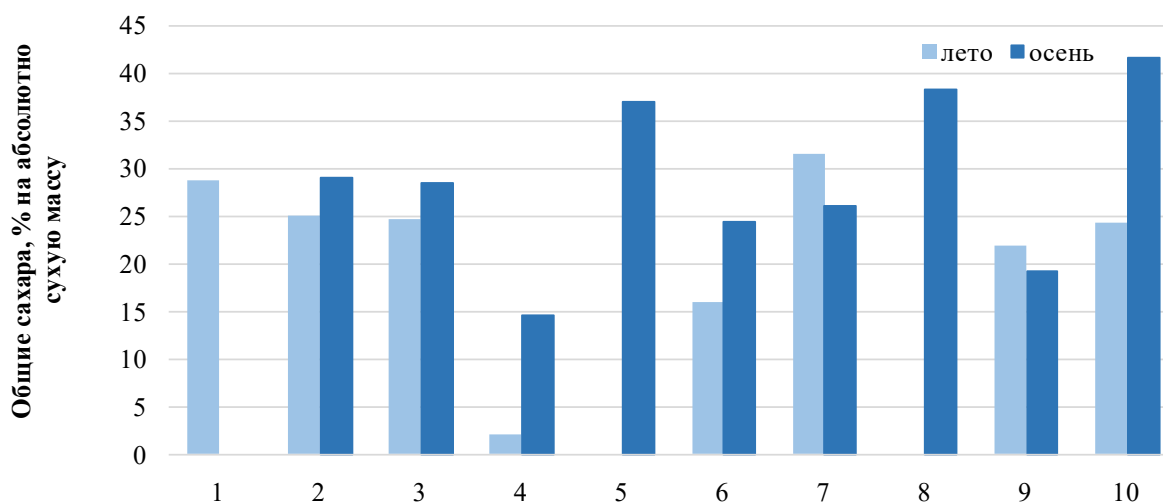


Рис. 3. Содержание общих сахаров в вегетативной массе очитков, 2019 г.:

1 - *Aizopsis aizoon*, 2 - *A. hybrida*, 3 - *A. kurilensis*, 4 - *Hylotelephium ewersii*, 5 - *Sedum acre*, 6 - *S. album*, 7 - *S. hispanicum*, 8 - *S. reflexum*, 9 - *S. rupestre*, 10 - *S. spurium*

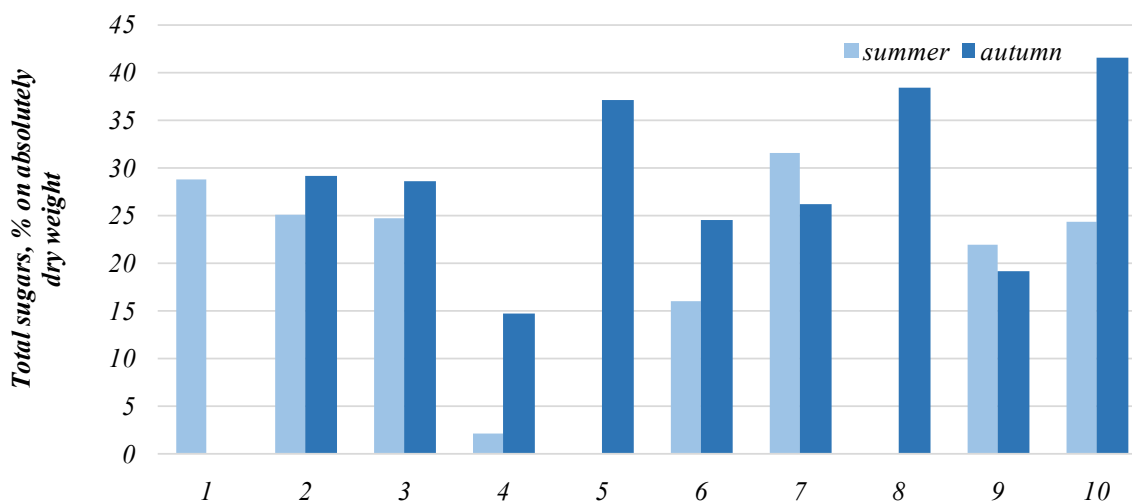


Рис. 3. Content of total sugars in the vegetative mass of stonecrops, 2019:

1 - *Aizopsis aizoon*, 2 - *A. hybrida*, 3 - *A. kurilensis*, 4 - *Hylotelephium ewersii*, 5 - *Sedum acre*, 6 - *S. album*, 7 - *S. hispanicum*, 8 - *S. reflexum*, 9 - *S. rupestre*, 10 - *S. spurium*

Важную роль в растениях выполняют сапонины, регулирующие ростовые процессы и обеспечивающие фитопатогенную защиту. На организм человека они оказывают выраженное гиполлипидемическое, противовоспалительное, иммуномодулирующее и противоопухолевое действие [13]. Нами установлено, что содержание сапонинов у очитков варьирует в очень широком диапазоне значений: от 3,78 % до 22,97 % в период цветения, а в конце сезона – от 2,63 % до 12,16 %. Индивидуальная изменчивость показателя также высока. Результаты нашего исследования выявили тенденцию к снижению количества сапонинов осенью в сравнении с фазой цветения.

К числу важнейших биологически активных соединений принадлежат пектиновые полисахариды, присутствующие в клеточных стенках растений. Они выполняют функцию структурных компонентов, участвуют в формировании засухоустойчивости, совместно с сахарами составляют основную долю сухих веществ. В отношении организма человека пектиновые вещества действуют как энтеросорбенты, проявляя иммуномодулирующие, гипогликемические, гепатопротекторные, антиканцерогенные свойства [14; 15]. Благодаря доступности и нетоксичности, пектиновые полисахариды перспективны для получения натуральных биодобавок.

У исследованных очитков количество пектинов составляет в основном 0,28–0,98%. Повышенным их содержанием отличаются побеги *H. ewersii*: 2,91 % летом (конец августа) и 1,93 % осенью (начало октября). Количество нерастворимых протопектинов заметно больше – от 3,29 % до 7,5 % (см. таблицы 1, 2). При подготовке к зимнему периоду содержание протопектинов в вегетативных органах снижается, а растворимых пектинов, напротив, возрастает. Суммарное содержание пектиновых веществ несколько выше в летний период (5,13–9,9 %).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Фитохимическое исследование вегетативной массы очитков, культивируемых в Новосибирске, показало, что эти растения сравнительно богаты биоактивными веществами, в первую очередь, фенольными соединениями. Количество катехинов в них незначительное – от 0,17 мг% до 3,15 мг% на сухую массу, тогда как содержание флавонолов достигает 2,38 %, а танинов – 19,35 %. Полезные свойства очитков обусловлены также высоким содержанием общих сахаров (12,09–41,55 %), аскорбиновой кислоты (42,49–112,8 %), сапонинов (2,63–22,97 %), пектиновых полисахаридов (4,27–9,9 %).

Таблица 1
Содержание биоактивных веществ в вегетативной массе очитков в период цветения, 2019 г.

Вид	Влажность сырья, %	Флавонолы, %	Катехины, мг%	Танины, %	Сапонины, %	Пектины, %	Протопектины, %
<i>Aizopsis aizoon</i>	89,96 ± 0,92	1,59 ± 0,01	2,44 ± 0,02	19,12 ± 0,43	11,53 ± 0,07	0,28 ± 0,01	6,13 ± 0,20
<i>A. hybrida</i>	87,46 ± 0,78	1,52 ± 0,01	0,66 ± 0,01	9,49 ± 0,19	10,92 ± 0,37	0,36 ± 0,01	7,50 ± 0,09
<i>A. kurilensis</i>	85,61 ± 0,97	1,46 ± 0,01	2,65 ± 0,03	16,75 ± 0,31	4,64 ± 0,04	0,28 ± 0,01	6,12 ± 0,11
<i>Hylotelephium ewersii</i>	92,35 ± 0,96	1,44 ± 0,01	1,09 ± 0,03	11,76 ± 0,28	5,50 ± 0,11	2,91 ± 0,01	6,99 ± 0,14
<i>Sedum album</i>	93,33 ± 1,13	1,65 ± 0,01	0,17 ± 0,01	5,55 ± 0,11	5,37 ± 0,02	0,75 ± 0,01	6,37 ± 0,07
<i>S. hispanicum</i>	94,10 ± 0,91	2,38 ± 0,02	0,93 ± 0,01	9,01 ± 0,13	22,97 ± 0,97	0,98 ± 0,03	4,15 ± 0,03
<i>S. rupestre</i>	84,47 ± 0,89	2,19 ± 0,01	3,15 ± 0,02	10,69 ± 0,23	8,62 ± 0,08	0,36 ± 0,01	5,40 ± 0,09
<i>S. spurium</i>	90,00 ± 0,98	0,80 ± 0,01	0,87 ± 0,01	14,60 ± 0,25	3,78 ± 0,08	0,50 ± 0,01	6,14 ± 0,14

Table 1
Content of bioactive compounds in the vegetative mass of stonecrops during flowering, 2019

Species	Raw material moisture, %	Flavonols, %	Catechins, mg%	Tannins, %	Saponins, %	Pectins, %	Protopectins, %
<i>Aizopsis aizoon</i>	89.96 ± 0.92	1.59 ± 0.01	2.44 ± 0.02	19.12 ± 0.43	11.53 ± 0.07	0.28 ± 0.01	6.13 ± 0.20
<i>A. hybrida</i>	87.46 ± 0.78	1.52 ± 0.01	0.66 ± 0.01	9.49 ± 0.19	10.92 ± 0.37	0.36 ± 0.01	7.50 ± 0.09
<i>A. kurilensis</i>	85.61 ± 0.97	1.46 ± 0.01	2.65 ± 0.03	16.75 ± 0.31	4.64 ± 0.04	0.28 ± 0.01	6.12 ± 0.11
<i>Hylotelephium ewersii</i>	92.35 ± 0.96	1.44 ± 0.01	1.09 ± 0.03	11.76 ± 0.28	5.50 ± 0.11	2.91 ± 0.01	6.99 ± 0.14
<i>Sedum album</i>	93.33 ± 0.13	1.65 ± 0.01	0.17 ± 0.01	5.55 ± 0.11	5.37 ± 0.02	0.75 ± 0.01	6.37 ± 0.07
<i>S. hispanicum</i>	94.10 ± 0.91	2.38 ± 0.02	0.93 ± 0.01	9.01 ± 0.13	22.97 ± 0.97	0.98 ± 0.03	4.15 ± 0.03
<i>S. rupestre</i>	84.47 ± 0.89	2.19 ± 0.01	3.15 ± 0.02	10.69 ± 0.23	8.62 ± 0.08	0.36 ± 0.01	5.40 ± 0.09
<i>S. spurium</i>	90.00 ± 0.98	0.80 ± 0.01	0.87 ± 0.01	14.60 ± 0.25	3.78 ± 0.08	0.50 ± 0.01	6.14 ± 0.14

Содержание биоактивных веществ в вегетативной массе очитков осенью, 2019 г.

Вид	Влажность сырья, %	Флавонолы, %	Катехины, мг%	Танины, %	Сапонины, %	Пектины, %	Протопектины, %
<i>Aizopsis hybrida</i>	83,23 ± 2,5	1,43 ± 0,02	2,46 ± 0,01	16,82 ± 0,34	6,55 ± 0,11	0,53 ± 0,01	3,96 ± 0,09
<i>A. kurilensis</i>	83,29 ± 2,1	1,50 ± 0,01	2,75 ± 0,01	15,08 ± 0,34	7,33 ± 0,20	0,46 ± 0,02	5,66 ± 0,02
<i>Hylotelephium ewersii</i>	87,62 ± 2,4	1,05 ± 0,01	0,49 ± 0,01	9,05 ± 0,18	2,63 ± 0,09	1,93 ± 0,01	5,51 ± 0,21
<i>Sedum acre</i>	87,75 ± 2,6	1,22 ± 0,02	0,43 ± 0,01	6,20 ± 0,11	12,16 ± 0,26	0,98 ± 0,01	3,29 ± 0,08
<i>S. album</i>	88,97 ± 2,8	0,91 ± 0,01	0,18 ± 0,01	6,80 ± 0,15	3,58 ± 0,08	1,01 ± 0,01	5,15 ± 0,05
<i>S. hispanicum</i>	90,61 ± 2,7	1,70 ± 0,03	0,80 ± 0,01	11,29 ± 0,25	6,77 ± 0,07	0,75 ± 0,01	6,06 ± 0,07
<i>S. reflexum</i>	87,65 ± 2,2	0,81 ± 0,01	3,05 ± 0,01	10,45 ± 0,21	9,41 ± 0,25	0,62 ± 0,02	4,36 ± 0,17
<i>S. rupestre</i>	80,26 ± 2,4	1,67 ± 0,02	3,15 ± 0,01	11,14 ± 0,23	2,99 ± 0,05	0,41 ± 0,01	4,78 ± 0,06
<i>S. spurium</i>	86,98 ± 2,5	1,15 ± 0,01	2,22 ± 0,01	19,35 ± 0,51	4,01 ± 0,12	0,62 ± 0,03	7,37 ± 0,23

Table 2

Content of bioactive substances in the vegetative mass of stonecrops in autumn, 2019

Species	Raw material moisture, %	Flavonols, %	Catechins, mg%	Tannins, %	Saponins, %	Pectins, %	Protopectins, %
<i>Aizopsis hybrida</i>	83.23 ± 2.5	1.43 ± 0.02	2.46 ± 0.01	16.82 ± 0.34	6.55 ± 0.11	0.53 ± 0.01	3.96 ± 0.09
<i>A. kurilensis</i>	83.29 ± 2.1	1.50 ± 0.01	2.75 ± 0.01	15.08 ± 0.34	7.33 ± 0.20	0.46 ± 0.02	5.66 ± 0.02
<i>Hylotelephium ewersii</i>	87.62 ± 2.4	1.05 ± 0.01	0.49 ± 0.01	9.05 ± 0.18	2.63 ± 0.09	1.93 ± 0.01	5.51 ± 0.21
<i>Sedum acre</i>	87.75 ± 2.6	1.22 ± 0.02	0.43 ± 0.01	6.20 ± 0.11	12.16 ± 0.26	0.98 ± 0.01	3.29 ± 0.08
<i>S. album</i>	88.97 ± 2.8	0.91 ± 0.01	0.18 ± 0.01	6.80 ± 0.15	3.58 ± 0.08	1.01 ± 0.01	5.15 ± 0.05
<i>S. hispanicum</i>	90.61 ± 2.7	1.70 ± 0.03	0.80 ± 0.01	11.29 ± 0.25	6.77 ± 0.07	0.75 ± 0.01	6.06 ± 0.07
<i>S. reflexum</i>	87.65 ± 2.2	0.81 ± 0.01	3.05 ± 0.01	10.45 ± 0.21	9.41 ± 0.25	0.62 ± 0.02	4.36 ± 0.17
<i>S. rupestre</i>	80.26 ± 2.4	1.67 ± 0.02	3.15 ± 0.01	11.14 ± 0.23	2.99 ± 0.05	0.41 ± 0.01	4.78 ± 0.06
<i>S. spurium</i>	86.98 ± 2.5	1.15 ± 0.01	2.22 ± 0.01	19.35 ± 0.51	4.01 ± 0.12	0.62 ± 0.03	7.37 ± 0.23

Межвидовая и индивидуальная изменчивость содержания основных групп веществ, как правило, значительная. Диапазон межвидовых колебаний для сапонинов гораздо шире в летний период, а для сухих веществ и сахаров – осенью. Пределы варьирования по количеству других групп вторичных метаболитов в течение сезона невелики. Полученные данные отражают тенденцию к большему накоплению в вегетативных органах очитков флавонолов, сапонинов, пектиновых полисахаридов в фазу цветения растений, но сахаров, танинов и сухих веществ – к концу вегетации, при подготовке к периоду зимнего покоя. Индивидуальная изменчивость содержания биоактивных веществ у очитков имеет разнонаправленный характер, вероятно, из-за различного уровня адаптации видов к условиям произрастания в западносибирской лесостепи и неодинаковой их реакции на колебания погодных факторов.

Из изученных нами очитков более высоким содержанием различных групп веществ отличаются

виды *Aizopsis*, *S. spurium*, *S. hispanicum*, а более низкие показатели отмечены для *H. ewersii* и *S. album*. Исследование показало, что вегетативная масса очитков может использоваться как сырье для получения фенольных веществ и других биоактивных соединений. Благодаря неприхотливости в культуре и высокой скорости разрастания очитки представляют легко возобновляемый, доступный источник. Поэтому они весьма перспективны для дальнейшего фитохимического изучения с целью разработки лекарственных средств и натуральных биодобавок.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено в рамках государственного задания по проекту АААА-А21-121011290025-2 «Оценка морфогенетического потенциала популяций растений Северной Азии экспериментальными методами». При подготовке статьи использовались материалы Биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН, УНУ «Коллекция живых растений в открытом и закрытом грунте», USU 440534.

Библиографический список

1. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007–2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plantarium.ru> (дата обращения: 13.01.2023).
2. Бялт А. В. Биоразнообразие, систематика и география толстянковых (Crassulaceae) в Евразии // Ботаника в современном мире: труды XIV съезда Русского ботанического общества и конференции. Махачкала, 2018. Т. 1. С. 20–23.

3. Энциклопедия декоративных садовых растений (ЭДСР) [Электронный ресурс]. URL: <http://flower.onego.ru> (дата обращения: 13.01.2023).
4. Matsuoka T., Tsuchiya K., Yamada S., Lundholm J. T., Okuro T. Value of Sedum species as a companion plants for nectar-producing plants depends on leaf characteristics of the Sedum // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. Vol. 39. Pp. 35–44. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.02.003.
5. Xu F., Cao S., Wang C., Wang K., Wei Y., Shao X., Wang H. Antimicrobial activity of flavonoids from Sedum aizoon L. against Aeromonas in culture medium and in frozen pork // *Food Science & Nutrition*. 2019. Vol. 7. Pp. 3224–3232. DOI: 10.1002/fsn3.1178.
6. Canli K., Bozyel M. E., Benek A., Yetgin A., Akata I., Altuner E. M. Screening of in vitro antimicrobial activity of Sedum hispanicum ethanol extract and determination of its biochemical composition // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021. Vol. 30. No. 11 A. Pp. 12614–12619.
7. Song W., Wang J., Zhai L., Ge L., Hao S., Shi L., Lian C., Chen C., Shen Z., Chen Y. A meta-analysis about the accumulation of heavy metals uptake by Sedum alfredii and Sedum plumbizincicola in contaminated soil // *International Journal Phytoremediation*. 2021. Vol. 24. No. 7. Pp. 744–752. DOI: 10.1080/15226514.2021.1970103.
8. Hassan M. H. A., Elwekeel A., Moawad A. S., Afifi N., Amin E., Amir D. E. Phytochemical constituents and biological activity of selected genera of family Crassulaceae: A review // *South African Journal of Botany*. 2021. Vol. 141. Pp. 383–404. DOI: 10.1016/j.sajb.2021.05.016.
9. Baskar V., Venkatesh R., Ramalingam S. Flavonoids (antioxidants systems) in higher plants and their response to stresses. In: Gupta D., Palma J., Corpas F. (eds). *Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants*. Springer, Cham, 2018. Pp. 253–268. DOI: 10.1007/978-3-319-75088-0_12.
10. Карпук В. В., Поликсенова В. Д., Шевелева О. А., Асинова М. И., Иванова А. В. Слизи, флавоноиды, танины в листьях суккулентов: содержание и локализация // *Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты: материалы III международной научно-практической конференции*. Минск, 2020. С. 41–45.
11. Wang T. Y., Li Q., Bi K. S. Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate // *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2018. Vol. 13. No. 1. Pp. 12–23. DOI: 10.1016/j.ajps.2017.08.004.
12. Koźmińska A., Al Hassan M., Wiszniewska A., Hanus-Fajerska E., Boscaiu M., Vicente O. Responses of succulents to drought: Comparative analysis of four Sedum (Crassulaceae) species // *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 243. Pp. 235–242. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.08.028.
13. Смуцева С. О., Мироненко Н. В., Чиглакова А. О., Селеменев В. Ф. Тенденции и перспективы научных исследований в области извлечения, анализа и применения гликозидных соединений пентациклического и тетрациклического ряда (обзор) // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2020. № 1. С. 18–28.
14. Minzanova S. T., Mironov V. F., Arkhipova D. M., Khabibulina A. V., Mironova L. G., Zakirova Yu. M., Milyakov V. A. Biological activity and pharmacological application of pectic polysaccharides: A review // *Polymers*. 2018. Vol. 10 (12). Article number 1407. DOI: 10.3390/polym10121407.
15. Oliveira A. F., da Luz B. B., Werner M. F. P., Iacomini M., Cordeiro L. M. C., Cipriani T. R. Gastroprotective activity of a pectic polysaccharide fraction obtained from infusion of Sedum dendroideum leaves // *Phytomedicine*. 2018. Vol. 41. No. 1. Pp. 7–12. DOI: 10.1016/j.phymed.2018.01.015.

Об авторах:

Татьяна Ивановна Фомина¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,

ORCID 0000-0003-4724-2480, AuthorID 164898; +7 (383) 339-97-96, fomina-ti@yandex.ru

Татьяна Абдулхаиловна Кукушкина¹, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-7235-9667,

AuthorID 97898; +7 (383) 339-98-16, kukushkina-phyto@yandex.ru

¹Центральный сибирский ботанический сад, Новосибирск, Россия

The content of biologically active substances in the vegetative mass of stonecrops (*Sedoideae*)

T. I. Fomina¹✉, T. A. Kukushkina¹

¹Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia

✉E-mail: fomina-ti@yandex.ru

Abstract. The aim of the study was to determine the content of the main groups of biologically active substances in the vegetative mass of 10 stonecrops in different phases of seasonal development. **Methods.** The freshly col-

lected raw materials – vegetative shoots of the following species: *Aizopsis aizoon* (L.) Grulich, *A. hybrida* (L.) Grulich, *A. kurilensis* (Vorosh.) S. Gontch., *Hylotelephium ewersii* (Ledeb.) H. Ohba, *Sedum acre* L., *S. album* L., *S. hispanicum* L., *S. reflexum* L., *S. rupestre* L. and *S. spurium* M. Bieb. were analyzed. Generally accepted methods of phytochemical analysis were used. The dry matter content was determined by drying 1 g of raw materials to a constant weight. The amount of phenolic compounds, pectin substances and total sugars was determined in ethanol extracts spectrophotometrically, the amount of saponins – by the weight method, and their indicators were calculated for the mass of absolute dry raw materials. The concentration of ascorbic acid was determined by the titrimetric method for wet weight. **Scientific novelty.** The quantitative content of dry substances, catechins, flavonols, and pectic polysaccharides was studied in stonecrops for the first time. The dynamics of the content of the main groups of secondary metabolites from the flowering phase to the end of the growing season has been established. **Results.** It was found that the vegetative mass of stonecrops contains: dry matter – up to 19,74 %, flavonols – up to 2,38 %, tannins – up to 19,35 %, pectic polysaccharides – up to 9,9 %, total sugars – up to 41,55 %, and ascorbic acid – up to 112,8 mg%; the amount of catechins does not exceed 3,15 mg%. The tendency to the accumulation of flavonols, saponins and pectic substances during flowering phase in summer, but sugars, tannins and dry substances to the end of the growing season in autumn was revealed. *Aizopsis* species, *S. spurium*, *S. hispanicum* have the highest content of the main groups of biologically active substances. The findings testify to the prospects of stonecrops as a source of various bioactive substances.

Keywords: *Sedoideae*, stonecrops, biologically active substances, vegetative mass, seasonal development.

For citation: Fomina T. I., Kukushkina T. A. Soderzhanie biologicheskii aktivnykh veshchestv v vegetativnoy masse ochitkov (*Sedoideae*) [The content of biologically active substances in the vegetative mass of stonecrops (*Sedoideae*)] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 115–124. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-115-124. (In Russian.)

Date of paper submission: 15.01.2023, **date of review:** 10.03.2023, **date of acceptance:** 13.03.2023.

References

1. Plantarium. Rasteniya i lishayniki Rossii i sopredel'nykh stran: otkrytyy onlayn atlas i opredelitel' rasteniy. 2007–2023 [Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. 2007–2023] [e-resource]. URL: <https://www.plantarium.ru/lang/en.html> (date of reference: 13.01.2023). (In Russian.)
2. Byalt A. V. Bioraznoobrazie, sistematika i geografiya tolstyankovykh (Crassulaceae) v Evrazii [Biodiversity, taxonomy and geography of the Crassulaceae in Eurasia] // Botanika v sovremennom mire: trudy XIV s'ezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferentsii. Makhachkala, 2018. Vol. 1. Pp. 20–23. (In Russian.)
3. Entsiklopediya dekorativnykh sadovykh rasteniy (EDSR) [Encyclopedia of ornamental garden plants (EOFP)] [e-resource]. URL: <http://flower.onego.ru> (date of reference: 13.01.2023). (In Russian.)
4. Matsuoka T., Tsuchiya K., Yamada S., Lundholm J. T., Okuro T. Value of *Sedum* species as a companion plants for nectar-producing plants depends on leaf characteristics of the *Sedum* // Urban Forestry & Urban Greening. 2019. Vol. 39. Pp. 35–44. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.02.003.
5. Xu F., Cao S., Wang C., Wang K., Wei Y., Shao X., Wang H. Antimicrobial activity of flavonoids from *Sedum aizoon* L. against *Aeromonas* in culture medium and in frozen pork // Food Science & Nutrition. 2019. Vol. 7. Pp. 3224–3232. DOI: 10.1002/fsn3.1178.
6. Canli K., Bozyel M. E., Benek A., Yetgin A., Akata I., Altuner E. M. Screening of in vitro antimicrobial activity of *Sedum hispanicum* ethanol extract and determination of its biochemical composition // Fresenius Environmental Bulletin. 2021. Vol. 30. No. 11 A. Pp. 12614–12619.
7. Song W., Wang J., Zhai L., Ge L., Hao S., Shi L., Lian C., Chen C., Shen Z., Chen Y. A meta-analysis about the accumulation of heavy metals uptake by *Sedum alfredii* and *Sedum plumbizincicola* in contaminated soil // International Journal Phytoremediation. 2021. Vol. 24. No. 7. Pp. 744–752. DOI: 10.1080/15226514.2021.1970103.
8. Hassan M. H. A., Elwekeel A., Moawad A. S., Afifi N., Amin E., Amir D. E. Phytochemical constituents and biological activity of selected genera of family Crassulaceae: A review // South African Journal of Botany. 2021. Vol. 141. Pp. 383–404. DOI: 10.1016/j.sajb.2021.05.016.
9. Baskar V., Venkatesh R., Ramalingam S. Flavonoids (antioxidants systems) in higher plants and their response to stresses. In: Gupta D., Palma J., Corpas F. (eds). Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants. Springer, Cham, 2018. Pp. 253–268. DOI: 10.1007/978-3-319-75088-0_12.
10. Karpuk V. V., Poliksenova V. D., Sheveleva O. A., Asinova M. I., Ivanova A. V. Slizi, flavonoidy, tannidy v list'yakh sukkulentov: sodержanie i lokalizatsiya [Mucus, flavonoids, tannids in the leaves of succulents: content

and localization] // Aktual'nye problemy izucheniya i sokhraneniya fito- i mikrobioty: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Minsk, 2020. Pp. 41–45. (In Russian.)

11. Wang T. Y., Li Q., Bi K. S. Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate // Asian Journal of Pharmaceutical Sciences. 2018. Vol. 13. No. 1. Pp. 12–23. DOI: 10.1016/j.ajps.2017.08.004.

12. Koźmińska A., Al Hassan M., Wiszniewska A., Hanus-Fajerska E., Boscaiu M., Vicente O. Responses of succulents to drought: Comparative analysis of four Sedum (Crassulaceae) species // Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 243. Pp. 235–242. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.08.028.

13. Smuseva S. O., Mironenko N. V., Chiglakova A. O., Selemenev V. F. Tendentsii i perspektivy nauchnykh issledovaniy v oblasti izvlecheniya, analiza i primeneniya glikozidnykh soedineniy pentatsiklicheskogo i tetratsiklicheskogo ryada (obzor) [Trends and prospects of scientific research in the field of extraction, analysis and use of glycosidic compounds of the pentacyclic and tetracyclic series] // Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2020. No. 1. Pp. 18–28. (In Russian.)

14. Minzanova S. T., Mironov V. F., Arkhipova D. M., Khabibulina A. V., Mironova L. G., Zakirova Yu. M., Milyakov V. A. Biological activity and pharmacological application of pectic polysaccharides: A review // Polymers. 2018. Vol. 10 (12). Article number 1407. DOI: 10.3390/polym10121407.

15. Oliveira A. F., da Luz B. B., Werner M. F. P., Iacomini M., Cordeiro L. M. C., Cipriani T. R. Gastroprotective activity of a pectic polysaccharide fraction obtained from infusion of Sedum dendroideum leaves // Phytomedicine. 2018. Vol. 41. No. 1. Pp. 7–12. DOI: 10.1016/j.phymed.2018.01.015.

Authors' information:

Tatyana I. Fomina¹, candidate of biological sciences, senior researcher, ORCID 0000-0003-4724-2480, AuthorID 164898; +7 383 339-97-96, fomina-ti@yandex.ru

Tatyana A. Kukushkina¹, senior researcher, ORCID 0000-0002-7235-9667, AuthorID 97898; +7 383 339-98-16, kukushkina-phyto@yandex.ru

¹Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, 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. Liebknecht 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 Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 01.07.2023 г. Усл. печ. л. 14,4. Авт. л. 11,5.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

