



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2021 Том 16 № 4
DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-4
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61171 от 30.03.2015 г.
Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Главный редактор

Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук,
профессор АТИ РУДН,
Москва, Российская Федерация
E-mail: plushchikov-vg@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Докукин П.А., канд. техн. наук,
доцент Агроинженерного
департамента АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

Ответственный секретарь

Терехин А.А., канд. с.-х. наук,
доцент АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Аббоуд-Аби Сааб М., д-р филос. (биология), ведущий научный сотрудник, Национальный центр исследований морской фауны Ливана, Бейрут, Ливан
Акимов В.А., д-р тех. наук, проф., главный научный сотрудник, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, РФ
Альтшулер А.М., д-р мед. и общ. наук, проф., Научно-исследовательский институт по чрезвычайным ситуациям, Израиль
Аун Жорж Э., профессор, Государственный университет Ливана, Бейрут, Ливан
Ашайеризаде О., PhD, доцент, Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов, Горган, Иран
Бабински Л., PhD, проф., Дебреценский университет, Дебрецен, Венгрия
Балестра Д.М., д-р филос. (биология), проф., ведущий научный сотрудник, Университет Тушии, Италия
Бородычев В.В., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, Волгоградский филиал ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, Волгоград, РФ
Валентини Р., д-р биол. наук, проф., Университет Тушии, Витербо, Италия
Ватников Ю.А., д-р вет. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Гитас И., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Греция
Донник И.М., академик РАН, вице-президент РАН, Москва, РФ
Дубенок Н.Н., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Еланский С.Н., д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ
Зволинский В.П., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, директор, Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, п. Солёное Займище, Астраханская обл., РФ
Игнатов А.Н., д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «Биоинженерия» РАН, Москва, РФ
Карвальо П.А., PhD, проф., Университет Бразилиа, Бразилиа
Ковечос Д., PhD, проф., декан факультета сельского хозяйства и природных ресурсов, Университет Аристотеля г. Салоники, Греция
Комитов Б., PhD, проф., Институт астрономии Болгарской академии наук, София, Болгария
Кузнецов В.В., д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Левин Е.А., канд. техн. наук, доц., Мичиганский технологический университет, Мичиган-Сити, США
Мадзалья А., д-р филос. (биология), проф., научный сотрудник, Университет Тушии, Италия
Медавар С., проф., декан сельскохозяйственного факультета, Ливанский государственный университет, Бейрут, Ливан
Новиков А.Е., д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, РФ
Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, профессор, чл.-кор. РАН, Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, РФ
Савин И.Ю., д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, РФ
Статакис Д., PhD, проф., департамент планирования и регионального развития, Университет Фессалии, Волос, Греция
Сычёв В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Москва, РФ
Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАН, Институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Москва, РФ
Чамурлиев Г.О., зам. отв. секретаря редколлегии, канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ
Шаад Н.В., д-р филос. (биология), проф., ведущий бактериолог, Министерство сельского хозяйства США, Вашингтон, США

**Вестник Российского университета дружбы народов.
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО**

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

4 выпуска в год (ежеквартально)

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

Цели и тематика. Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство» — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследования в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарносанитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 03.02.01 Ботаника, 03.02.13 Почвоведение, 06.01.01 Общее земледелие растениеводство, 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, 06.01.04 Агротехника, 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, 06.01.06 Луговое хозяйство и лекарственные эфирномасличные культуры, 06.01.07 Защита растений, 06.01.09 Овощеводство, 06.02.01 Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных (ветеринарные науки), 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология (ветеринарные науки), 06.02.04 Ветеринарная хирургия (ветеринарные науки), 06.02.07 Разведение селекция и генетика сельскохозяйственных животных (сельскохозяйственные науки), 06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (сельскохозяйственные науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>

Редакторы: О.В. Горячева, М.И. Яблонская

Компьютерная верстка: М.В. Рогова

Адрес редакции:

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Почтовый адрес редакции

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2

Тел.: (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Подписано в печать 28.12.2021. Выход в свет 30.12.2021. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times, Roboto».

Усл. печ. л. 10,1. Тираж 500 экз. Заказ № 1140. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3,

тел. (495) 952-04-41; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2021 VOLUME 16 No. 4
DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-4
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr Vadim G. Plyushchikov
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: pliuschchikov-vg@rudn.ru

DEPUTY CHIEF EDITOR

Dr Petr A. Dokukin
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Dr Aleksey A. Terekhin
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

EDITORIAL BOARD

Marie Abboud-Abi Saab, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, National Centre of Sea Animals Research of Lebanon, Beirut, Lebanon

Valeriy A. Akimov, Professor, Dr of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Institute for Research of Civil Defense and Emergencies Situations of the Emergencies Ministry of Russia, Moscow, Russian Federation

Aleksandr M. Altshuler, Dr of Medical and Social Sciences, Professor, Emergency Research Institute, Israel

Georges Emilo Aoun, Professor, Lebanese University, Beirut, Lebanon

Omid Ashayerizadeh, PhD, Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

Laszlo Babinszky, PhD, Professor, University of Debrecen, Debrecen, Hungary

Giorgio M. Balestra, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy

Viktor V. Borodychev, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Volgograd Branch of Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Volgograd, Russian Federation

Georgiy O. Chamurliiev, Deputy Executive Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agricultural Engineering Department, Agrarian Technological Institute, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Paulo A. Carvalho, PhD, Professor, University of Brasilia, Brazil

Irina M. Donnik, Academician of RAS, Vice-president of RAS, Moscow, Russian Federation

Nikolay N. Dubenok, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy of Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Sergiy N. Elanskiy, Professor, Dr Biology science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Ioannis Gitas, PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Aleksandr N. Ignatov, Professor, Dr of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Centre "Bioengineering", RAS, Moscow, Russian Federation

Dimitris Koveos, Professor, PhD, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Boris Komitov, PhD, Professor, Institute of Astronomy of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Vladimir V. Kuznetsov, Professor, Dr of Biological Sciences, Corresponding Member of RAS, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Moscow, Russian Federation

Eugene A. Levin, Associate professor, PhD in Photogrammetry, Michigan Technological University, United States

Angelo Mazzaglia, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy

Samir Medawar, Professor, dean of the Agricultural Faculty, Lebanese University, Beirut, Lebanon

Andrey E. Novikov, Dr of Technical Sciences, Department of Processes and Apparatus of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Aleksey S. Ovchinnikov, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

Igor Y. Savin, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Soil Institute of V.V. Dokuchaev, Moscow, Russian Federation

Viktor G. Sychev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the RAS, director, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry RAS, Moscow, Russian Federation

Norman V. Schaad, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), USA Ministry of Agriculture, Washington, United States

Dimitris Stathakis, Professor, PhD, University of Thessaly, Volos city, Greece

Boris V. Usha, Honoured Scientist of Russia, Academician of RAS, Dr of Veterinary Sciences, Professor, Institute of Veterinary Expertise, Sanitary and Ecology, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Ricardo Valentini, Professor, Dr of Biological Sciences, Tuscia University, Italy

Yuriy A. Vatnikov, Professor, Dr of Veterinary Sciences, Veterinary Medicine of ATI, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Vyacheslav P. Zvolinskiy, Dr of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the RAS, director, Caspian Research Institute of Arid Agriculture, Solenoye Zajmishche city, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

Published by the RUDN University
(Peoples' Friendship University of Russia),
Moscow, Russian Federation

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

Aims and Scope

RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries is an peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference "Innovation Processes in Agriculture", which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>

Editors *O.V. Goryacheva, M.I. Yablonskaya*
Computer design *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation
Ph. +7 (495) 952-04-41
e-mail: publishing@rudn.ru

Postal Address of the Editorial Board:

8/2 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation
Ph. +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation,
Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: publishing@rudn.ru

Содержание

Растениеводство

Ложкин А.Г., Мардарьева Н.В., Мардарьев С.Н. Продуктивность сортов твердой пшеницы в зависимости от норм высева в условиях Чувашской Республики.. 291

Николаев П.Н., Юсова О.А. Перспективные двурядные пленчатые сорта для повышения урожайности и качества зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири 303

Скороходов В.Ю. Последствие предшественников яровой твердой пшеницы на урожайность и содержание калия в почве при долготлетних исследованиях на черноземе южном степной зоны Южного Урала 313

Защита растений

Вожжова Н.Н., Жогалева О.С., Купрейшвили Н.Т., Дубина А.Ю., Костылев П.И. Скрининг генов устойчивости к пирикуляриозу у селекционных образцов риса 326

Реут А.А., Денисова С.Г. Содержание тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Peonia* L. в условиях урбанизированной среды..... 337

Парпура Д.И., Сидорцов А.И., Атмачьян Г.П. Оценка биологической и экономической эффективности применения фунгицида АМИСТАР Голд в посевах подсолнечника в условиях Нижнего Поволжья..... 353

Общее земледелие

Савин И.Ю. Пространственная адаптация систем земледелия к пестроте полей ... 362

Агротехнологии и мелиорация земель

Иванова Т.К., Слуковская М.В., Мосендз И.А., Красавцева Е.А., Максимова В.В., Канарейкина И.П., Широкая А.А., Кременецкая И.П. Модифицированные материалы на основе слоистых силикатов как мелиоранты для ремедиации подзола техногенной пустоши370

Защитное лесоразведение

Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. Роль защитных лесных насаждений разных типов в кормовой продуктивности пастбищных угодий Западного Прикаспия389

Агроэкономика

Zharov A.N., Pliushchikov V.G. Assessment of the efficiency of agricultural land use: a case study of France (Оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения на примере Франции)400

Contents

Crop production

- Lozhkin A.G., Mardaryeva N.V., Mardaryev S.N.** Productivity of durum wheat cultivars depending on seeding rates in the Chuvash Republic 291
- Nikolayev P.N., Yusova O.A.** Promising two-row covered cultivars for increasing yield and quality of barley grain in conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia 303
- Skorokhodov V.Y.** Effect of forecrop on yield of spring durum wheat and soil potassium in chernozems of southern steppe zone in Southern Urals during long-term research 313

Plant protection

- Vozzhova N.N., Zhogaleva O.S., Kupreyshvili N.T., Dubina A.Y., Kostylev P.I.** Screening of blast resistance genes in rice breeding samples 326
- Reut A.A., Denisova S.G.** The content of heavy metals in the raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L. in an urbanized environment 337
- Parpura D.I., Sidortsov A.I., Atmachyan G.P.** Biological and economic evaluation of AMISTAR Gold fungicide against sunflower rust in the Lower Volga region 353

Land management

- Savin I.Y.** The spatial adaptation of farming systems to the heterogeneity of plots 362

Agricultural technologies and land reclamation

- Ivanova T.K., Slukovskaya M.V., Mosendz I.A., Krasavtseva E.A., Maksimova V.V., Kanareykina I.P., Shirokaya A.A., Kremenetskaya I.P.** Modified materials based on layered minerals as ameliorants for the remediation of podzol in the industrial barren ...370

Protective afforestation

- Rybashlykova L.P., Sivceva S.N., Mahovikova T.F.** Role of different types of protective forest stands in fodder productivity of rangeland in the Western Caspian region389

Agroeconomics

- Zharov A.N., Pliushchikov V.G.** Assessment of the efficiency of agricultural land use: a case study of France400



Растениеводство Crop production

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-291-302

УДК 633.112: 631.53.048

Научная статья / Research article

Продуктивность сортов твердой пшеницы в зависимости от норм высева в условиях Чувашской Республики

А.Г. Ложкин , Н.В. Мардарьева  , С.Н. Мардарьев 

Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Российская Федерация

 volga480@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены результаты двухлетних экспериментальных данных роста, развития и урожайности сортов яровой твердой пшеницы Безенчукская Нива и Безенчукская Золотистая в условиях Чувашской Республики. Установлено, что при уменьшении нормы высева всхожих семян с 7 до 3 млн шт. на 1 га продолжительность вегетации изучаемых сортов яровой твердой пшеницы сокращается на 6—7 дней. Посев нормой 5 млн шт. всхожих семян на 1 га обеспечил максимальную густоту колосоносных стеблей за счет наилучших показателей общей и продуктивной кустистости. Формирование наиболее крупного главного колоса с большим содержанием зерен у сорта Безенчукская Нива отмечена при нормах высева всхожих семян от 3 до 5 млн шт. на 1 га. Увеличение нормы высева семян более 5 млн шт. привело к уменьшению показателей параметров главного колоса. Анализ структуры урожая сорта Безенчукская Золотистая не выявил четких закономерностей в изменении параметров длины и озерненности главного колоса от норм высева. Однако по массе 1000 зерен наибольший показатель 50,4 г был получен на варианте с нормой высева всхожих семян в 6 млн шт. Максимальный прирост урожайности сорта Безенчукская Нива в 1,2 т/га по сравнению с контролем получена на варианте при норме высева 5 млн шт. всхожих семян на 1 га. Наибольшая урожайность сорта Безенчукская Золотистая в 3,23 т/га получена нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га.

Ключевые слова: яровая пшеница, норма высева, структура урожая, урожайность, фазы роста

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 18 января 2021 г., принята к публикации 12 ноября 2021 г.

© Ложкин А.Г., Мардарьева Н.В., Мардарьев С.Н., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Для цитирования: Ложкин А.Г., Мардарьева Н.В., Мардарьев С.Н. Продуктивность сортов твердой пшеницы в зависимости от норм высева в условиях Чувашской Республики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 291—302. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-291-302

Productivity of durum wheat cultivars depending on seeding rates in the Chuvash Republic

Alexander G. Lozhkin , Nataliya V. Mardaryeva  , Sergey N. Mardaryev 

Chuvash State Agrarian University, *Cheboksary, Russian Federation*

 volga480@yandex.ru

Abstract. The results of two-year experimental data on the growth, development and productivity of spring durum wheat cultivars — Bezenchukskaya Niva and Bezenchukskaya Zolotistaya — in the Chuvash Republic were considered. It was found that decrease in the seeding rate of germinating seeds (from 7 to 3 million per 1 ha) resulted in reducing of the growing period in the studied cultivars of spring durum wheat by 6–7 days. Seeding rate of 5 million seeds per 1 ha provided the maximum density of spike-bearing stems due to the best indicators of general and productive tillering. The formation of the largest main spike with a high grain content in Bezenchukskaya Niva cultivar was noted at the seeding rate from 3 to 5 million seeds per 1 ha. Increase in the seeding rate (> 5 million seeds) led to a decrease in the parameters of the main spike. Analysis of Bezenchukskaya Zolotistaya yield structure did not reveal clear patterns in the change in length and grain size of the main spike resulted from the seeding rate. However, the highest 1000-seed weight (50.4 g) was obtained in the variant with a seeding rate of 6 million seeds pieces. Compared to the control, the maximum yield increase in cv. Bezenchukskaya Niva (1.2 t/ha) was obtained in the variant with a seeding rate of 5 million seeds per 1 ha. The highest yield of cv. Bezenchukskaya Zolotistaya (3.23 t/ha) was obtained at a seeding rate of 6 million seeds per 1 ha.

Key words: spring wheat, seeding rate, yield structure, productivity, growth stages

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 18 January 2021. Accepted: 12 November 2021

For citation: Lozhkin AG, Mardaryeva NV, Mardaryev SN. Productivity of durum wheat cultivars depending on seeding rates in the Chuvash Republic. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):291—302. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-291-302

Введение

Каждый регион России обладает определенными почвенно-климатическими ресурсами, позволяющими сформировать урожай той или иной культуры соответствующей величины и качества. Степень соответствия между биологией развития, продукционными возможностями сельскохозяйственных культур и потенциальной плодородностью региона определяют уровень использования этих ресурсов [1, 2].

Традиционно твердая пшеница выращивается в регионах среднего и нижнего Поволжья: Оренбургская, Саратовская, Самарская, Пензенская области, Южного

Урала — в Челябинской области, в Алтайском и Ставропольском краях. Объемы производства составляют в среднем в год 650...700 тыс. т на возделываемой площади более 500 тыс. га, что составляет менее 2,0 % от общемирового производства этой культуры [3—5].

Экспорт российской твердой пшеницы в настоящее время ориентирован на Италию и Турцию. В последние годы качество зерна производимой твердой пшеницы относится к 4 и 5-му классам, а зерно 1 и 2-го классов практически отсутствует. Общая мощность перерабатывающих предприятий по производству высококачественных макаронных изделий из твердых сортов пшеницы составляет 350 тыс. т, при этом 40...50 % мощностей локализовано в Европейской части Российской Федерации, где и ожидается в ближайшие годы формирование сырьевой зоны [6—8].

Чувашская Республика не относится к традиционным регионам возделывания яровой твердой пшеницы, там она в промышленных масштабах никогда не возделывалась. Научные исследования по изучению продуктивности сортов яровой твердой пшеницы различного морфотипа в условиях Чувашской Республики проводятся нами впервые начиная с 2014 г. Поэтому полевые испытания различных сортов твердой пшеницы в северных регионах Поволжья, в т. ч. в Чувашской Республике, для определения возможностей селекционной и технологической адаптации яровой твердой пшеницы — весьма актуальная задача [9].

Цель исследований — установить продуктивность сортов яровой твердой пшеницы в зависимости от норм высева в центральной сельскохозяйственной зоне Чувашской Республики.

Материалы и методы исследования

Деляночные опыты проводились на опытных полях филиала ФГБУ «Госсорткомиссия» по Чувашской Республике в Вурнарском районе в 2019—2020 гг.

Почва на опытных делянках по типу темно-серая лесная, по механическому составу — тяжелосуглинистая, мощность пахотного горизонта составляет 27...28 см. Содержание гумуса составляет до 6,1 %, подвижного фосфора — 255...299 мг/кг, обменного калия — 110...149 мг/кг, рН — от 5,2 до 5,5.

Объектами исследований в опытах являются сорта яровой твердой пшеницы Безенчукская Нива и Безенчукская Золотистая (фактор В) при разных нормах высева семян (фактор А).

Площадь делянки — 22,4 м², учетная — 10 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое, площадь под опытом — 806,4 м².

Схема 2-факторного опыта:

1. Норма высева 3 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Золотистая.
2. Норма высева 4 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Золотистая.
3. Норма высева 5 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Золотистая.
4. Норма высева 6 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Золотистая.
5. Норма высева 7 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Золотистая (Контроль).
6. Норма высева 3 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Нива.

7. Норма высева 4 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Нива.
8. Норма высева 5 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Нива.
9. Норма высева 6 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Нива.
10. Норма высева 7 млн шт. всхожих сем./га + сорт Б. Нива.

В условиях вегетации 2019 г. в период май — июль осадков выпало на 32 % меньше, а в августе составило 150 % от средних многолетних показателей. Среднемесячная температура вегетационного периода была ниже среднемноголетней на 2,1 °С. Однако, несмотря на это в целом климатические условия 2019 г. сложились благоприятно для роста и развития растений твердой пшеницы.

Довольно неблагоприятной сложилась весна 2020 г. В апреле установлен рекорд по количеству выпавших за месяц осадков, прежний максимум зафиксирован по Чувашской Республике в 1992 г. А по температуре воздуха апрель стал самым холодным с 2011 г., что явилось фактором, сдерживающим темпы проведения сева. В итоге сев опытов провели только 21 мая. Также наблюдалось обилие осадков в 3-й декаде июля и вплоть до середины августа на фоне пониженных от среднемноголетних данных температур.

В опытах применялась яровая твердая пшеница сорта Безенчукская Нива, среднеспелая, продолжительность вегетационного периода от 75 до 96 дней. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2012 г., рекомендован к возделыванию в Уральском регионе. Авторы сорта — П.Н. Мальчиков, А.А. Вьюшков, М.Г. Мясникова [10].

Безенчукская Золотистая — среднеспелый сорт, вегетационный период — 77...88 дней. Сорт включен в Госреестр по Средневолжскому, Нижневолжскому и Уральскому регионам и рекомендован к возделыванию в Саратовской, Самарской и Оренбургской областях [11].

Посев зерновых культур в 2019 г. проведен 9 мая, в 2020 г. — 21 мая. Предшественник — горох, технология обработки — общепринятая для Чувашской Республики [12].

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения на всех вариантах опыта. Начало фазы развития пшеницы устанавливали глазомерно и брали день, когда в эту фазу вступало не менее 10 % растений от их общего количества. В некоторых случаях для большей точности визуальная оценка заменялась подсчетом растений. Наблюдения и учет в течение вегетационного периода, а также уборка урожая и учет урожая проводились по методике государственного сортоиспытания. Урожайность зерна оценивали методом сплошного обмолота со всей площади делянок. Математическая обработка данных проводилась методом дисперсионного анализа в изложении Б.А. Доспехова.

Результаты исследования и обсуждение

Данные продолжительности фаз роста и развития яровой пшеницы в среднем за 2019—2020 гг. (табл. 1) свидетельствуют, что продолжительность вегетации различается по сортам и прослеживается определенная закономерность в зависимости от норм высева.

**Влияние норм высева на продолжительность вегетации яровой пшеницы
в среднем за 2019–2020 гг.**

Норма высева, млн шт/га	Сорта	Фенологические фазы развития мягкой пшеницы, дней				
		Всходы – выход в трубку	Колошение и цветение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость
3	Б. Нива	34	56	72	90	102
	Б. Золотистая	35	52	71	87	97
4	Б. Нива	33	54	71	86	100
	Б. Золотистая	34	50	70	84	98
5	Б. Нива	35	58	76	94	105
	Б. Золотистая	34	54	72	94	102
6	Б. Нива	36	58	74	95	107
	Б. Золотистая	35	53	74	94	102
7	Б. Нива	37	58	76	97	108
	Б. Золотистая	36	57	74	96	104

Table 1

Influence of seeding rates on the growing period of spring wheat, 2019–2020

Seeding rate, million seeds per ha	Cultivars	Growth stages of common wheat, days				
		Seedlings – Exit into the tube booting	Earing and flowering	Milk development	Dough development	Ripening
3	B. Niva	34	56	72	90	102
	B. Zolotistaya	35	52	71	87	97
4	B. Niva	33	54	71	86	100
	B. Zolotistaya	34	50	70	84	98
5	B. Niva	35	58	76	94	105
	B. Zolotistaya	34	54	72	94	102
6	B. Niva	36	58	74	95	107
	B. Zolotistaya	35	53	74	94	102
7 (control)	B. Niva	37	58	76	97	108
	B. Zolotistaya	36	57	74	96	104

Так с уменьшением норм высева с 7 до 3 млн штук всх. семян/га продолжительность вегетации твердой пшеницы сорта Безенчукская Нива сократилась на 6 дней и сорта Безенчукская Золотистая на 7 дней. При этом вегетационный период пшеницы сорта Безенчукская Золотистая в среднем за 2 года наблюдений был несколько короче, чем у сорта Безенчукская Нива, как в контрольном, так и на остальных вариантах.

Полученные биометрические данные растений твердой пшеницы перед уборкой свидетельствуют (табл. 2), что нормы высева влияют прежде всего на густоту стеблестоя растений. Известно, что оптимальная густота стеблестоя с равномерным распределением площади питания обеспечивает наивысшую продуктивность культуры [13—15]. В исследованиях в среднем за 2 года количество продуктивных стеблей перед уборкой по вариантам опыта составила по сорту Безенчукская Нива 283...450 шт./м², сорта Безенчукская Золотистая 288...442 шт./м². При этом следует отметить, что увеличение нормы высева не всегда способствует увеличению густоты продуктивного стеблестоя. Только посев нормой 5 млн шт. всх. семян на 1 га обеспечил максимальную густоту колосоносных стеблей за счет наилучших показателей общей и продуктивной кустистости.

Таблица 2

Биометрические показатели твердой пшеницы в среднем за 2019–2020 гг.

Норма высева, млн шт./га	Сорта	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Высота растений, см	Кустистость	
				Общая	Продуктивная
3	Б. Нива	283	80,5	1,5	1,5
	Б. Золотистая	288	72,4	1,1	1,0
4	Б. Нива	330	79,5	1,4	1,4
	Б. Золотистая	313	79,3	1,2	1,2
5	Б. Нива	377	81,8	1,7	1,6
	Б. Золотистая	392	70,5	1,8	1,8
6	Б. Нива	420	73,6	1,1	1,0
	Б. Золотистая	449	69,5	1,1	1,1
7	Б. Нива	450	70,6	1,0	1,0
	Б. Золотистая	441	72,2	1,0	1,0
НСР 05 по фактору А		21,5	2,7	0,1	0,1
НСР 05 по фактору Б		8,3	1,4	0,1	0,1

Table 2

Impact of seeding rates on biometric indicators of durum wheat, 2019–2020

Seeding rate, million seeds per ha	Cultivars	Number of productive stems, stems/m ²	Plant height, cm	Tilling capacity	
				Total	Productive
3	B. Niva	283	80.5	1.5	1.5
	B. Zolotistaya	288	72.4	1.1	1.0
4	B. Niva	330	79.5	1.4	1.4
	B. Zolotistaya	313	79.3	1.2	1.2
5	B. Niva	377	81.8	1.7	1.6
	B. Zolotistaya	392	70.5	1.8	1.8
6	B. Niva	420	73.6	1.1	1.0
	B. Zolotistaya	449	69.5	1.1	1.1
7	B. Niva	450	70.6	1.0	1.0
	B. Zolotistaya	441	72.2	1.0	1.0
LSD ₀₅ factor A		21.5	2.7	0.1	0.1
LSD ₀₅ factor B		8.3	1.4	0.1	0.1

Также следует отметить тенденцию к увеличению общей и продуктивной кустистости при снижении нормы высева семян с 7 до 3 млн шт. на 1 га.

Высота растений твердой пшеницы в зависимости от норм высева варьировала у сорта Безенчукская Нива от 70,6 до 81,8 см, Безенчукская Золотистая — 70,5...79,3 см. Прослеживается достоверная закономерность увеличения высоты растений при уменьшении нормы высева от стандартного показателя 7 до 3 млн шт. на 1 га, что видимо тоже прежде всего связано с увеличением площади питания и условий освещенности растений твердой пшеницы.

Данные анализа структуры урожая и отдельных ее элементов приведены в табл. 3. Формирование наиболее крупного главного колоса с большим содержанием зерен в нем у сорта Безенчукская Нива выявлено с нормой высева 3, 4, 5 млн шт. всх. семян. При этом наилучшие показатели параметров главного колоса получены при норме высева семян 3 млн шт., где длина колоса составила 6,65 см с числом зерен 32,4 шт. с массой 1,55 г. Увеличение нормы высева семян более 5 млн шт. привело, по нашим данным, к уменьшению показателей параметров главного колоса. Так при контрольной норме высева в 7 млн шт. длина главного колоса составила 5,44 см, а по количеству зерен в нем и веса семян в колосе показатели практически в 2 раза уступали полученным аналогичным данным с нормой в 3 млн шт. Масса 1000 зерен при разных нормах посева варьирует также значительно. Наилучшее полновесное зерно сорта Безенчукская Нива получено с нормой высева 5 млн шт. всх. семян, где вес 1000 зерен составил 53,4 г.

Таблица 3

Элементы структуры урожая твердой пшеницы в среднем в 2019–2020 гг.

Норма высева, млн шт/га	Сорт	Главный колос			Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га
		Длина, см	Число зерен, шт.	Масса зерен в колосе, г		
3	Б. Нива	6,65	32,4	1,55	47,8	2,28
	Б. Золотистая	5,32	24,1	1,03	42,7	1,96
4	Б. Нива	6,00	25,0	1,28	51,2	3,01
	Б. Золотистая	5,60	24,0	1,10	45,8	2,44
5	Б. Нива	6,70	27,5	1,47	53,4	3,54
	Б. Золотистая	5,31	21,6	1,09	46,3	3,01
6	Б. Нива	5,80	16,1	0,70	43,4	2,95
	Б. Золотистая	5,30	22,0	1,12	50,4	3,23
7	Б. Нива	5,44	17,0	0,75	44,1	2,34
	Б. Золотистая	5,40	24,2	1,09	43,2	2,80
НСР 05 по фактору А		0,32	4,3	0,17	1,6	0,3
НСР 05 по фактору А		0,21	3,7	0,08	2,1	0,2

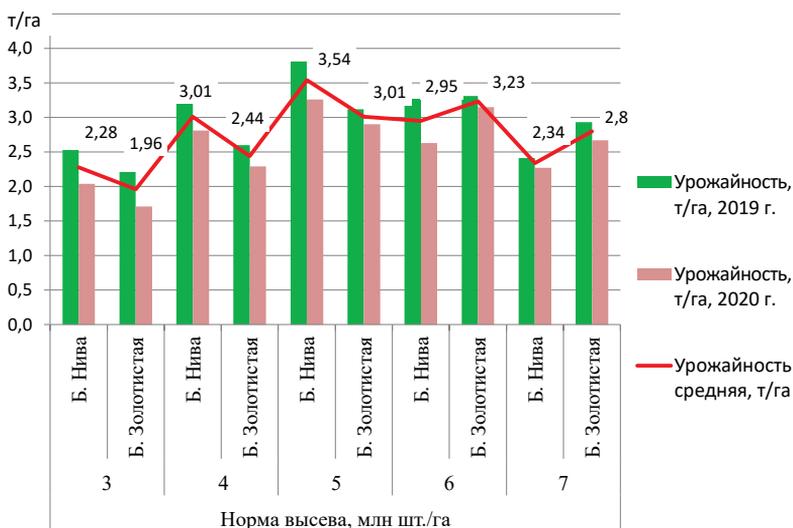
Table 3

Elements of yield structure in durum wheat, 2019–2020

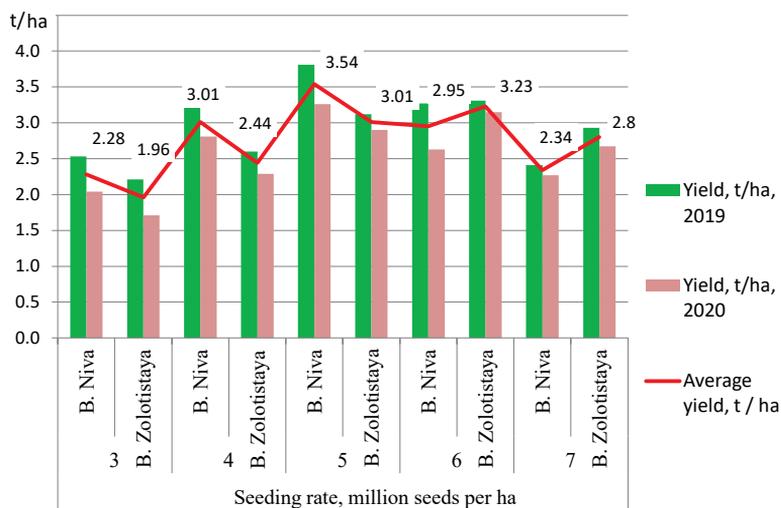
Seeding rate, million seeds per ha	Cultivars	Main spike			1000-seed weight, g	Yield, t/ha
		Length, cm	Number of grains	Grain weight per spike, g		
3	B. Niva	6.65	32.4	1.55	47.8	2.28
	B. Zolotistaya	5.32	24.1	1.03	42.7	1.96
4	B. Niva	6.00	25.0	1.28	51.2	3.01
	B. Zolotistaya	5.60	24.0	1.10	45.8	2.44
5	B. Niva	6.70	27.5	1.47	53.4	3.54
	B. Zolotistaya	5.31	21.6	1.09	46.3	3.01
6	B. Niva	5.80	16.1	0.70	43.4	2.95
	B. Zolotistaya	5.30	22.0	1.12	50.4	3.23
7	B. Niva	5.44	17.0	0.75	44.1	2.34
	B. Zolotistaya	5.40	24.2	1.09	43.2	2.80
LSD ₀₅ factor A		0.32	4.3	0.17	1.6	0.31
LSD ₀₅ factor B		0.21	3.7	0.08	2.1	0.24

Анализ структуры урожая сорта Безенчукская Золотистая не выявил четких закономерностей в изменении параметров длины и озерненности главного колоса в зависимости от норм высева. Однако по массе 1000 зерен наибольший показатель 50,4 г был получен на варианте при норме высева в 6 млн шт. всх. семян.

Урожайные данные сортов твердой пшеницы в опытных исследованиях приведены на рисунке.



Урожайность твердой пшеницы



Durum wheat productivity

Нужно отметить, что погодные условия для возделывания яровой твердой пшеницы в 2019 г. сложились более благоприятно в отличие от 2020 г. Данную динамику можно заметить по представленной диаграмме, по обоим сортам твердой пшеницы наблюдается достоверная разница по годам исследований. Урожайные данные в среднем за два года свидетельствуют, что нормы высева в конечном итоге влияют на формирование урожайности яровой твердой пшеницы. Так прослеживается положительная динамика изменения урожайности по сравнению с контролем с уменьшением нормы высева с 7 до 4 млн шт. всхожих семян на 1 га. На контрольном варианте при норме высева 7 млн шт. на 1 га была получена урожайность пшеницы сорта Безенчукская Нива в 2,34 т/га, максимальный прирост в 1,2 т/га составил вариант с нормой высева 5 млн шт. на 1 га. Сорт Безенчукская Золотистая сформировал на контрольном варианте в среднем за 2 года урожайность 2,80 т/га. Максимальная урожайность в 3,23 т/га зафиксирована при норме высева в 6 млн шт. на 1 га.

Заключение

1. Почвенно-климатические условия Чувашской Республики благоприятствуют производству яровой твердой пшеницы сортов Безенчукская Нива и Безенчукская Золотистая.

2. Рекомендованная в Чувашской Республике норма высева яровой пшеницы в 7 млн всх. семян на 1 га является завышенной для производства сортов яровой твердой пшеницы Безенчукская Нива и Безенчукская Золотистая.

3. Максимальная продуктивность с учетом почвенно-климатических условий сформирована зерновыми культурами сорта Безенчукская Нива с нормой высева 5 млн шт. всхожих семян на 1 га и сорта Безенчукская Золотистая — 6 млн шт. всхожих семян на 1 га.

Библиографический список

1. Lozhkin A.G., Shashkarov L.G., Eliseeva L.V., Alexandrova A.N. Formation of elements of the harvesting structure of spring durum wheat in agroecological conditions of the Chuvash // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Macau, 21—24 July 2019. Macau: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012054. doi: 10.1088/1755—1315/346/1/012054
2. Шевченко С.Н., Корчагин В.А., Горянин О.И., Мальчиков П.Н., Вьюшков А.А., Чичкин А.П. Производство высококачественного зерна яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье: научно-практическое руководство / Самарский НИИСХ. Самара: СамНЦ РАН, 2010. 75 с.
3. Lozhkin A.G., Malchikov P.N., Makushev A.E., Vasiliev O.A., Shashkarov L.G., Pushkarenko N.N. Evaluation of spring durum wheat varieties by yield, structure and grain quality // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International AgroScience Conference, AgroScience 2019, Cheboksary. Cheboksary: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012045. doi: 10.1088/1755-1315/433/1/012045
4. Ложкин А.Г., Васильев О.А., Дмитриев В.Л., Крамаренко А.В. Влияние препаратов Bloom & Grow и Immune system на продуктивность яровой твердой и мягкой пшеницы в условиях Чувашской Республики // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 39—43. doi: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-39-43
5. Макарова Т.С., Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Дубинина О.А., Костыленко О.А., Каменева А.С. Основные направления и результаты селекции озимой твердой пшеницы на Дону // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы V Междунар. науч.-практич. конференции, Киров, 01—05 апреля 2019 г. Киров: Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 2019. С. 93—97.
6. Васильев О.А., Зайцева Н.Н., Кирьянов Д.П. Эффективность использования отходов биогазовой установки в качестве некорневой подкормки яровой пшеницы на серых лесных почвах Чувашии // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (40). С. 7—12.
7. Кузнецов Н.Н., Пушкаренко Н.Н., Медведев В.И., Зайцев П.В., Васильев А.О., Андреев Р.В. Модель функционирования технологического процесса послеуборочной обработки зерна в отделении приема и предварительной очистки зернового вороха // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 4 (51). С. 114—118. doi: 10.12737/article_5c3de39977c439.48919234
8. Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Дубинина О.А., Ионова Е.В., Макарова Т.С., Костыленко О.А., Каменева А.С., Кравченко Н.С. Эйрена — сорт озимой твердой пшеницы, адаптированный к абиотическим и биотическим факторам среды // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6(66). С. 60—67. doi: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-60-67
9. Ложкин А.Г., Мальчиков П.Н., Мардарьева Н.В., Сидоров В.В. Влияние комплексных препаратов серии БиоАктивСоил на урожайность и качество зерна яровой твердой и мягкой пшеницы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 1. С. 51—61. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-1-51-61
10. Мальчиков П.Н., Вьюшков А.А., Мясникова М.Г. Формирование моделей сортов твердой пшеницы для Средневолжского региона России: монография. Самара: СамНЦ РАН, 2012. 112 с.
11. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Сорта яровой твердой пшеницы для Средневолжского и Уральского регионов Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 58—62.
12. Ильина Т.А., Ильин А.Н., Васильев О.А. Влияние технологий обработки на запасы влаги в серой лесной почве Чувашии // Вестник Казанского аграрного университета. 2017. № 4 (46). С. 8—11. doi: 10.12737/article_5a5f0410f0ba45.73690952
13. Bousalhih B., Mekliche L., Aissat A., Sadek B.H. Study of genetic determinism of harvest index in durum wheat (*Triticum durum* Desf) under semi-arid conditions // African Journal of Biotechnology. 2016. Vol 15. No 47. Pp. 2671—2677. doi: 10.5897/AJB2016.15539
14. Шашкаров Л.Г., Малов Н.П. Густота всходов, полевая всхожесть и выживаемость растений яровой пшеницы в зависимости от сорта // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 3 (50). С. 65—68. doi: 10.12737/article_5bcf556e27c338.79719264
15. Шашкаров Л.Г., Лебедева З.Г. Формирование густоты посева и структуры урожая яровой пшеницы в зависимости от сорта и предпосевной обработки семян // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 1 (39). С. 30—33. doi: 10.12737/19303

References

1. Lozhkin AG, Shashkarov LG, Eliseeva LV, Alexandrova AN. Formation of elements of the harvesting structure of spring durum wheat in agroecological conditions of the Chuvash Republic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 346:012054. doi: 10.1088/1755-1315/346/1/012054

2. Shevchenko SN, Korchagin VA, Goryanin OI, Malchikov PN, Bushkov AA, Chichkin AP. Proizvodstvo vysokokachestvennogo zerna yarovoi tverdoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e [High-quality grain production of spring durum wheat in the middle Volga region]. Samara: SAMNTS RAS publ.; 2010. (In Russ.).
3. Lozhkin AG, Malchikov PN, Makushev AE, Vasiliev OA, Shashkarov LG, Pushkarenko NN. Evaluation of spring durum wheat varieties by yield, structure and grain quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 433:012045. doi: 10.1088/1755-1315/433/1/012045
4. Lozhkin AG, Vasilyev OA, Dimitrov VL, Kramarenko VA. Influence of Bloom & Grow and Immune system products on the productivity of spring durum and common wheat in the conditions of the Chuvash Republic. *Grain economy of Russia*. 2020; (2):39–43. (In Russ.). doi: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-39-43
5. Makarova TS, Samofalova NE, Ilichkina NP, Dubinina OA, Kostylenko OA, Kameneva AS. Main directions and results of selection of winter durum wheat in the Don region. In: *Methods and technologies in plant breeding and crop production: conference proceedings*. Kirov, 01—05 April 2019. Kirov; 2019. p.93—97. (In Russ.).
6. Vasiliev OA, Zaitsev NN, Kiryanov DP. Efficiency of waste biogas plants as a foliar nutrition of spring wheat on gray forest soils of Chuvashia. *Vestnik Bashkir state agrarian university*. 2016; (4):7—12. (In Russ.).
7. Kuznetsov NN, Pushkarenko NN, Medvedev VI, Zaitsev PV, Vasiliev OA, Andreev RV. The model of functioning of the technological process of post-harvest processing of grain in the Department receiving and pre-cleaning of grain heap. *Vestnik of Kazan state agrarian University*. 2018; 13(4):114—118. (In Russ.). doi: 10.12737/article_5c3de39977c439.48919234
8. Samofalova NE, Ilichkina NP, Dubinina OA, Ionova EV, Makarova TS, Kostylenko OA, Kameneva AS, Kravchenko NS. Eyrena — a variety of winter durum wheat adapted to abiotic and biotic environmental factors. *Grain economy of Russia*. 2019; (6):60—67. (In Russ.). doi: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-60-67
9. Lozhkin AG, Malchikov PN, Mardarieva NV, Sidorov VV. The influence of complex products of the BioActivSoil series on the yield and quality of grain of spring durum and soft wheat. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. — 2020; 15(1):51—61. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-1-51-61
10. Malchikov PN, Vyushkov AA, Myasnikova MG. *Formirovanie modelei sortov tverdoi pshenitsy dlya Srednevolzhskogo regiona Rossii* [Formation of models of durum wheat varieties for the Middle Volga region of Russia]. Samara: SAMNTS RAS publ.; 2012. (In Russ.).
11. Malchikov PN, Myasnikova MG. Varieties of spring durum wheat for the Middle Volga and Ural regions of the Russian Federation. *Achievements of science and technology in Agro-industrial complex*. 2015; 29(10):58—62. (In Russ.).
12. Ilyina TA, Ilyin AN, Vasiliev OA. The influence of processing technologies on moisture reserves in the gray forest soil of Chuvashia. *Vestnik of Kazan state agrarian university*. 2017; (4):8—11. (In Russ.). doi: 10.12737/article_5a5f0410f0ba45.73690952
13. Bousalhih V, Mekliche L, Aissat A, Sadek BH. Study of genetic determinism of harvest index in durum wheat (*Triticum durum* Desf) under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(47):2671—2677. doi: 10.5897/AJB2016.15539
14. Shashkarov LG, Malov NP. Germination density, field germination and survival of spring wheat plants depending on the variety. *Vestnik of Kazan state agrarian university*. 2018; 13(3):65—68. (In Russ.). doi: 10.12737/article_5bcf556e27c338.79719264
15. Shashkarov LG, Lebedeva ZG. Formation of sowing density and structure of spring wheat yield depending on the variety and pre-sowing seed treatment. *Vestnik of Kazan state agrarian university*. 2016; 11(1):30—33. (In Russ.). doi: 10.12737/19303

Об авторах:

Лошкин Александр Геннадьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, растениеводства, селекции и семеноводства, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, д. 29; e-mail: lozhkin_tmvl@mail.ru ORCID 0000-0002-1859-3794

Мардарьева Наталья Валерьевна — кандидат биологических наук, заведующий кафедрой биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, д. 29; e-mail: volga480@yandex.ru ORCID 0000-0001-7863-7245

Мардарьев Сергей Николаевич — кандидат технических наук, заведующий кафедрой механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, д. 29; e-mail: s-mard@mail.ru
ORCID 0000-0002-5218-4927

About the authors:

Lozhkin Alexander Gennadievich — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Agriculture, Plant Growing, Breeding and Seed Production, Chuvash State Agrarian University, 29 Karla Marksa st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428003, Russian Federation; e-mail: lozhkin_tmvl@mail.ru
ORCID 0000-0002-1859-3794

Mardaryeva Nataliya Valerievna — Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Biotechnology and Processing of Agricultural Products, Chuvash State Agrarian University, 29 Karla Marksa st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428003, Russian Federation; e-mail: volga480@yandex.ru
ORCID 0000-0001-7863-7245

Mardarev Sergey Nikolaevich — Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agrarian University, 29 Karla Marksa st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428003, Russian Federation; e-mail: s-mard@mail.ru
ORCID 0000-0001-7863-7245



DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-303-312

УДК 633.16:631.527:631.526.32(527.1)

Научная статья / Research article

Перспективные двурядные пленчатые сорта для повышения урожайности и качества зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири

П.Н. Николаев , О.А. Юсова  

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Российская Федерация

 yusova@55anc.ru

Аннотация. Агроклиматические особенности регионов возделывания ячменя обуславливают необходимость создания и выращивания сортов, характеризующихся адаптивностью к местным био- и абиотическим факторам. Такие сорта способны формировать стабильный высококачественный урожай независимо от условий, складывающихся в течение периода вегетации. Создание потенциально высокоурожайных сортов является первоочередной задачей селекции ячменя в Западно-Сибирском регионе. Двурядные ячмени характеризуются выравненностью зерна, пониженной пленчатостью и повышенной экстрактивностью, по сравнению с шестьюрядными. Цель исследования — характеристика новых перспективных сортов ячменя (пленчатой двурядной группы) селекции Омского аграрного научного центра (ФГБНУ «Омский АНЦ»). Исследования проведены с 2012 по 2019 гг. Использованы 8 сортов пленчатых двурядных сортов ячменя селекции ФГБНУ «Омский АНЦ», среди них новые перспективные сорта: Омский 100 (включен в Госреестр в 2019 г.) и Омский 101 (передан на ГСИ в 2018 г.), стандарт — Омский 95 (2007 г.). Определены биохимические показатели зерна: содержание белка, сырого жира, крахмала, пленчатость зерна. Селекция ячменя с 2000 по 2019 гг. имела направленность на создание засухоустойчивых сортов, которые бы формировали повышенные продуктивность и качество зерна в сухих и засушливых периодах вегетации на фоне их снижения в условиях оптимального увлажнения. Сорта Омский 100 и Омский 101 характеризовались формированием повышенных показателей качества зерна и продуктивности в контрастных по климатическим характеристикам периодах вегетации. Сорт Омский 100 имел повышенный сбор белка (+ 57,9 кг/га к ст.), крахмала (+0,3 т/га к ст.) и сырого жира (+ 11,7 кг/га к ст.), Омский 101 — повышенный сбор белка (+84,9 кг/га к ст.).

Ключевые слова: пленчатый двурядный ячмень, белок, крахмал, сырой жир, урожайность сортов, корреляция

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 5 июля 2021 г., принята к публикации 29 ноября 2021 г.

Для цитирования: Николаев П.Н., Юсова О.А. Перспективные двурядные пленчатые сорта для повышения урожайности и качества зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 303–312. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-303-312

© Николаев П.Н., Юсова О.А., 2021

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Promising two-row covered cultivars for increasing yield and quality of barley grain in conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia

Petr N. Nikolayev , Oksana A. Yusova  

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation

 ksanajusva@rambler.ru

Abstract. Agroclimatic features of the regions of barley cultivation necessitate the creation and cultivation of cultivars characterized by adaptability to local bio- and abiofactors. Such cultivars are able to form a stable high-quality crop regardless of the conditions prevailing during the growing season. The developing of potentially high-yielding cultivars is a priority task of barley breeding in the West Siberian region. Two-row barley is characterized by grain equalization, reduced husk content and increased extractive content, compared to six-row barley. The aim of the study was to characterize the new promising cultivars of barley (two-row covered group) selected in Omsk Agrarian Scientific Center. The research was conducted in the southern forest-steppe of Western Siberia in 2012—2019. 8 cultivars of covered two-row barley selected in Omsk Agrarian Scientific Center were studied. There are new promising cultivars among them: ‘Omskiy 100’ (included in the Russian State Register in 2019) and ‘Omskiy 101’ (sent to the State Registration Service in 2018). The standard cultivar was ‘Omskiy 95’ (2007). The biochemical parameters of grain were determined: protein content, crude fat, starch, husk content. Barley selection from 2000 to 2019 focused on the developing of drought-resistant cultivars, which formed increased productivity and quality of grain in dry and arid periods of vegetation in conditions of optimal moistening. New promising cultivars — ‘Omskiy 100’ and ‘Omskiy 101’ were characterized by the formation of increased indicators of grain quality and productivity in vegetation periods that were contrasting in climatic characteristics. Due to increased yield and grain quality, cv. ‘Omskiy100’ had increased protein (+57.91 kg/ha), starch (+0.3 t/ha) and fat (+11.7 kg/ha) harvest compared to the standard. Cv. ‘Omskiy 101’ increased protein harvest by 84.9 kg/ha in comparison to the standard.

Key words: two-row covered barley, protein, starch, crude fat, yield, correlation

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 5 July 2021. Accepted: 29 November 2021

For citation: Nikolayev PN, Yusova OA. Promising two-row covered cultivars for increasing yield and quality of barley grain in conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):303—312. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-303-312

Введение

Ячмень — это незаменимая по многообразию использования зерновая культура, которая достаточно распространена в Российской Федерации [1] благодаря высоким урожайным качествам [2—4].

Двухрядные пленчатые ячмени имеют значительные преимущества перед шестирядными: выравненное (равномерное) зерно, более тонкая оболочка (плен-

чатость у двурядного ячменя — 9...11 %, многорядного — 10...13 %), повышенное содержание экстрактивных веществ [5, 6].

Агроклиматические особенности регионов возделывания ячменя обуславливают необходимость создания и выращивания сортов [3], характеризующихся адаптивностью к местным био- и абиофакторам. Такие сорта способны формировать стабильный высококачественный урожай независимо от условий, складывающихся в течение периода вегетации [7, 8].

Создание потенциально высокоурожайных сортов является первоочередной задачей селекции ячменя в Западно-Сибирском регионе.

Цель исследования — характеристика новых перспективных сортов ячменя пленчатой двурядной группы селекции Омского аграрного научного центра (ФГБНУ «Омский АНЦ»).

Материалы и методы исследования

Исследования проводились с 2012 по 2019 гг. Данные получены на опытных полях Омского аграрного научного центра (г. Омск, южная лесостепь Западной Сибири).

Объект исследований — новые перспективные пленчатые двурядные сорта ячменя селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омский 100 и Омский 101). Также для сравнения характеристик имеются данные сортов, возделываемых в регионе: Омский 90, Омский 91, Омский 96, Сибирский авангард, Саша и Омский 95 (стандарт).

Определены массовые доли белка, крахмала и сырого жира, а также пленчатость зерна [9, 10] с последующей математической обработкой полученных результатов [11].

Периоды вегетации 2012, 2014 и 2017 гг. характеризовались как области сухого земледелия (ГТК = 0,70); 2015, 2018 и 2019 гг. — засушливые (ГТК = 0,80...0,90). Достаточное увлажнение отмечено лишь в 2013 и 2016 гг. (ГТК = 1,00).

Результаты исследования и обсуждение

В среднем за период исследований содержание белка в зерне пленчатой двурядной группы ячменя составило 13,8 % (табл.). Сорта Омский 90 и Омский 91, включенные в Госреестр в 2000 и 2004 гг. соответственно, характеризовались среднемноголетним содержанием белка на уровне 14,0 % (+0,5 % к ст.). У сортов, районированных с 2007 по 2019 гг., наблюдалось снижение данного показателя (13,3...13,7 %), за исключением сорта Омский 96 (14,3 %; +0,8 % к ст.). Повышение белковости (14,2 %) наблюдалось у нового перспективного сорта Омский 101 (рис. 1), переданного на ГСИ в 2018 г., что превышало стандарт и показатель сорта Омский 90 соответственно на 0,7 и 0,2 %. Повышенное среднемноголетнее содержание белка сорт Омский 101 формировал в различные по метеоусловиям периоды вегетации: оптимальных по увлажнению 2013 и 2016 гг. (13,2 и 15,0 %), сухих 2014 и 2017 гг. (14,4 и 15,1 %), засушливого 2015 г. (13,3 %). Аналогичную характеристику имел сорт Омский 96. У прочих исследуемых сортов прослежи-

валась тенденция к формированию повышенной белковости зерна в строго определенных условиях: либо при засухе, либо в условиях оптимального увлажнения.

Выраженность и изменчивость показателей продуктивности и качества зерна сортов ячменя

Сорт	Массовая доля белка, %		Массовая доля крахмала, %		Массовая доля сырого жира, %		Масса 1000 зерен, г		Пленчатость зерна, %		Урожайность, т/га	
	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}
Омский 90	11,0...17,0	14,0	52,9...60,1	57,2	1,2...3,6	2,3	37,4...56,5	47,8	8...8,5	8,2	1,9...5,1	3,6
Омский 91	11,7...17,1	14,0	51,6...58,8	56,1	1,7...3,2	2,5	33,5...50,4	44,2	7,5...9,9	8,3	2,2...5,5	3,6
Омский 95, st.	11,3...18,1	13,5	52,2...60,3	56,8	0,9...3,8	2,2	35,7...49,3	43,6	7,2...11,7	9,1	2,1...5,9	4,2
Омский 96	11,7...17,2	14,3	52,6...58,8	56,3	0,9...3,3	2,3	34,2...57,9	49,9	6,9...10,1	8,6	2,1...6,2	4,0
Сибирский авангард	10,8...17,6	13,4	50,9...63,7	56,4	1,3...3,2	2,2	34,6...52,4	46,7	6,8...8,1	7,8	1,9...6,7	4,0
Саша	11,8...17,0	13,7	52,3...59,5	55,8	1,4...2,7	2,3	36,3...54,4	47,3	7,3...13,1	9,1	2,5...6,5	4,6
Омский 100	11,3...16,5	13,3	52,9...58,8	56,3	1,8...3,2	2,5	32,4...54,2	47,4	6,2...10,6	8,4	2,8...6,5	4,9
Омский 101	12,0...16,7	14,2	53,6...61,4	57,5	1,3...3,2	2,0	35,4...54,5	47,2	7,5...9,5	8,6	2,8...6,6	4,7
S_x	–	0,1	–	0,2	–	0,1	–	0,7	–	0,2	–	0,1

The severity and variability of yield indicators and grain quality in barley cultivars

Cultivar	Mass fraction of protein, %		Mass fraction of starch, %		Mass fraction of crude fat, %		Weight of 1000 grains, g		Husk content, %		Yield, t/ha	
	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}
Omskiy 90	11.0...17.0	14.0	52.9...60.1	57.2	1.2...3.6	2.3	37.4...56.5	47.8	8.0...8.5	8.2	1.9...5.1	3.6
Omskiy 91	11.7...17.1	14.0	51.6...58.8	56.1	1.7...3.2	2.5	33.5...50.4	44.2	7.5...9.9	8.3	2.2...5.5	3.6
Omskiy 95, st.	11.3...18.1	13.5	52.2...60.3	56.8	0.9...3.8	2.2	35.7...49.3	43.6	7.2...11.7	9.1	2.1...5.9	4.2
Omskiy 96	11.7...17.2	14.3	52.6...58.8	56.3	0.9...3.3	2.3	34.2...57.9	49.9	6.9...10.1	8.6	2.1...6.2	4.0
Sibirskiy avangard	10.8...17.6	13.4	50.9...63.7	56.4	1.3...3.2	2.2	34.6...52.4	46.7	6.8...8.1	7.8	1.9...6.7	4.0
Sasha	11.8...17.0	13.7	52.3...59.5	55.8	1.4...2.7	2.3	36.3...54.4	47.3	7.3...13.1	9.1	2.5...6.5	4.6
Omskiy 100	11.3...16.5	13.3	52.9...58.8	56.3	1.8...3.2	2.5	32.4...54.2	47.4	6.2...10.6	8.4	2.8...6.5	4.9
Omskiy 101	12.0...16.7	14.2	53.6...61.4	57.5	1.3...3.2	2.0	35.4...54.5	47.2	7.5...9.5	8.6	2.8...6.6	4.7
S_x	–	0.1	–	0.2	–	0.1	–	0.7	–	0.2	–	0.1

Содержание крахмала в зерне в среднем за период исследований составило 56,5 %. Повышенная крахмалистость зерна в среднем по опыту отмечена у сортов Омский 90 и Омский 101 (+0,4 и +0,7 % к st.). Сорт Омский 101 формировал повышенное содержание данного показателя только в сухих условиях 2012, 2014, 2017 гг. (+0,7...+1,3 % к st.) и засушливых 2018 и 2019 гг. (+3,3 и +2,1 % к st.). Сорт Омский 90 отличался повышенной крахмалистостью как в сухих условиях 2012 и 2014 гг. (+0,7 % к st.), засушливого 2018 г. (+2,6 % к st.), так и в условиях оптимального увлажнения 2016 г. (+0,7 % к st.). У прочих районированных сортов наблюдалось пониженное значение данного показателя в среднем за период исследований (–0,4...–1,0 % к st.).

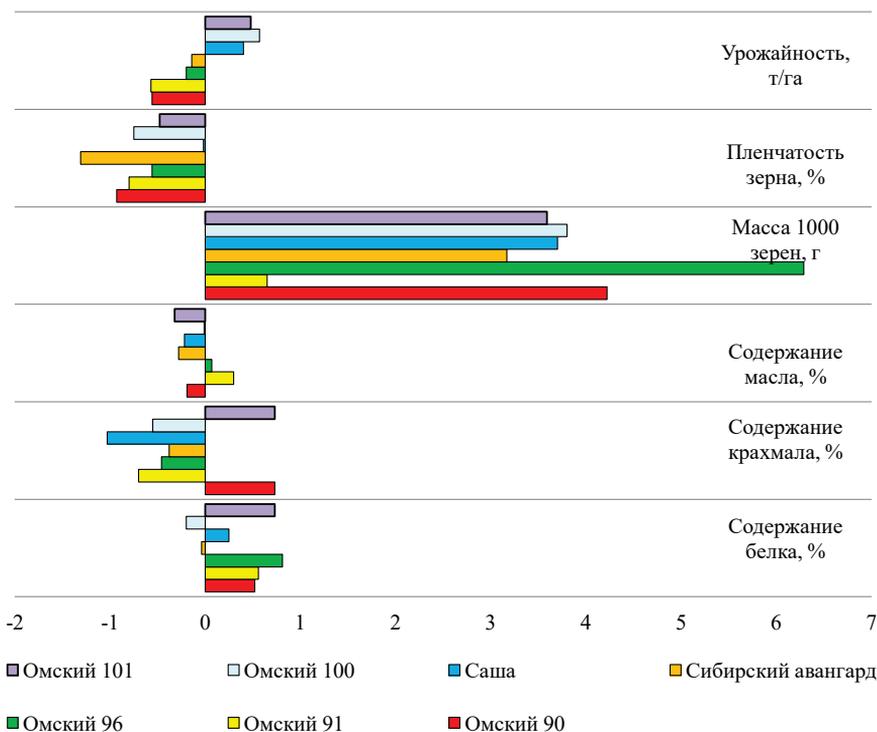


Рис. 1. Средние за период исследований показатели продуктивности и качества зерна исследуемых сортов ячменя по отношению к стандарту, \pm st.

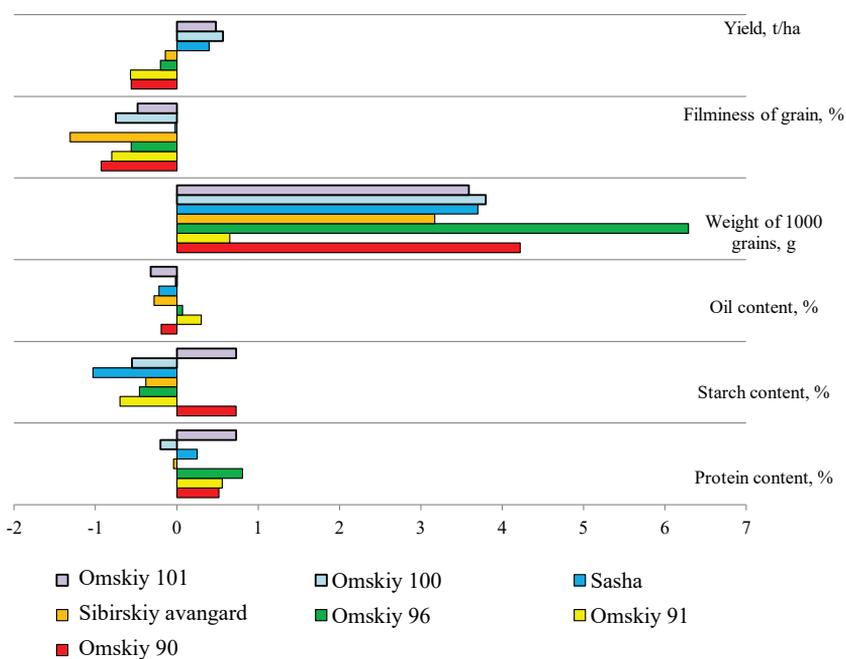


Fig. 1. Average indicators of productivity and quality of grain of the studied barley cultivars compared to the standard, \pm st.

Средняя масличность зерна отмечена на уровне 2,3 %. Изменчивость содержания сырого жира по опыту составляет от 0,9 до 3,8 %. Повышенным содержанием данного показателя характеризовался новый перспективный сорт Омский 100 в сухих 2012 и 2017 гг. (2,6 и 1,8 %), а также засушливых периодах 2015 и 2018 гг. (3,0 и 3,1 %). Аналогичными характеристиками обладал сорт Омский 91: повышенная масличность сформировалась в сухих 2014 и 2017 гг. (2,8 и 1,7 %) и засушливом 2015 г. (3,1 %). В условиях оптимального увлажнения максимально высоким содержанием сырого жира отличались сорта Саша (2,6 % в 2013 г.) и Омский 101 (2,3 % в 2016 г.).

Масса 1000 зерен составила 46,7 г. в среднем за период исследований. У сорта Омский 90, районированного в 2000 г., отмечена масса 1000 зерен на уровне 47,8 г (+ 4,2 г к st.). У районированных в 2004 и 2007 гг. сортов Омский 91 и Омский 95 наблюдалось пониженное значение данного показателя (до 44,2 и 43,6 г); у сорта Омский 96 — повышенное (49,9 г; + 6,3 г к st.). Характерной особенностью сорта Омский 96 явилась способность к формированию повышенной массы 1000 зерен в сухих условиях 2012, 2014, 2017 гг. (41,8...56,0 г), засушливых 2015, 2018 и 2019 гг. (50,5...57,9 г) и в условиях оптимального увлажнения 2013 г. (51,3 г). Аналогичная особенность отмечена также для нового перспективного сорта Омский 100 (53,6 г и 50,3 г; 32,44 и 49,90 г — соответственно перечисленным выше условиям). Сорта Сибирский авангард и Омский 101 формировали повышенную крупность зерна в условиях оптимального увлажнения 2016 г. (42,1 и 42,9 г).

По показателю пленчатости зерна к приоритетным относят пониженные значения. В среднем за период исследований, минимальной пленчатостью зерна отличались сорта Омский 90 (8,2 %; –0,9 % к st.) и Сибирский авангард (8,3...9,1 %). Пленчатость остальных исследуемых сортов не превышала средние значения стандарта (9,11 %). В основном, все исследуемые сорта формировали пониженную пленчатость зерна в сухих и засушливых условиях (7,8 %). Сорта Омский 90 и Сибирский Авангард характеризовались низкой пленчатостью как в условиях засухи 2015, 2018 и 2019 гг. (7,3...8,1 %), так и в условиях оптимального увлажнения 2013 и 2016 гг. (8,0...8,4 %).

Актуальное направление селекционной работы — создание адаптивных сортов, способных формировать повышенные урожаи высококачественного зерна независимо от складывающихся в течение периода вегетации климатических факторов [12, 13].

Урожайность сортов — наиважнейший признак, который характеризует результативность проводимых исследований и эффективность выращиваемых в производстве сортов [14, 15]. Средняя по опыту урожайность сортов ячменя — 4,19 т/га. На фоне снижения качественных показателей зерна урожайность сортов, включенных в Госреестр с 2000 по 2019 гг., напротив, возрастала: от 3,6 т/га (–0,6 т/га к st.) у сорта Омский 90 до 4,7 т/га (+ 0,5 т/га к st.) у сорта Омский 101. Стандарт Омский 95 формировал повышенную урожайность в сухих и засушливых условиях 2014, 2015, 2017—2019 гг. (4,2...5,9 т/га).

Новые перспективные сорта Омский 100 и Омский 101 отличались оптимальной урожайностью во все периоды исследований: повышенной в 2012, 2015, 2016, 2018 и 2019 гг. (+0,6...1,9 т/га к st.); на уровне стандарта — в остальные периоды.

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что многолетняя направленная селекция на создание засухоустойчивых сортов показала свою эффективность, что подтверждает слабая сопряженность урожайности и показателей качества зерна с суммой осадков ($r = 0,161 \dots 0,204$).

У новых перспективных сортов отмечен повышенный сбор питательных веществ с 1 га (рис. 2). Так, сорт Омский 100 имел повышенный сбор белка (542,5 кг/га; + 57,9 кг/га к st.), крахмала (2,2 т/га; +0,3 т/га к st.) и масла (100,5 кг/га; + 11,7 кг/га к st.) за счет повышенной урожайности (+0,6 т/га).

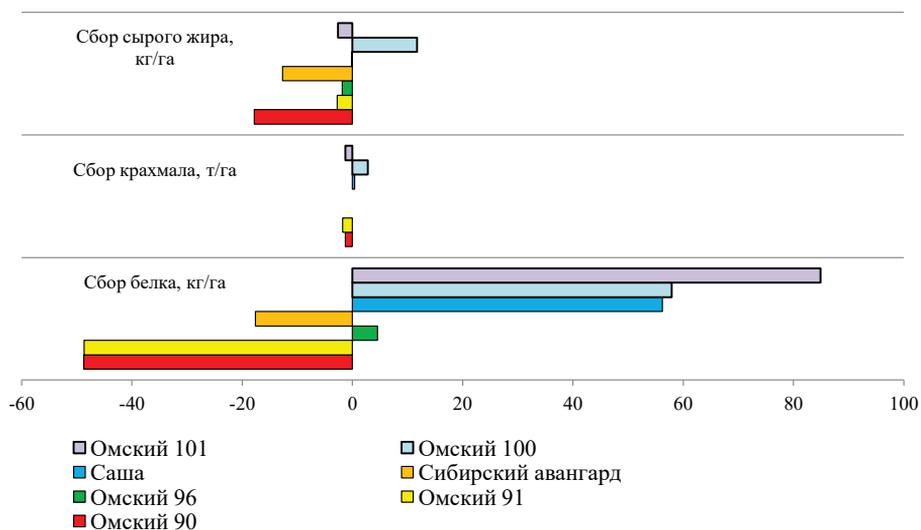


Рис. 2. Средний за период исследований сбор питательных веществ с 1 га у исследуемых сортов ячменя по отношению к стандарту, ± st.

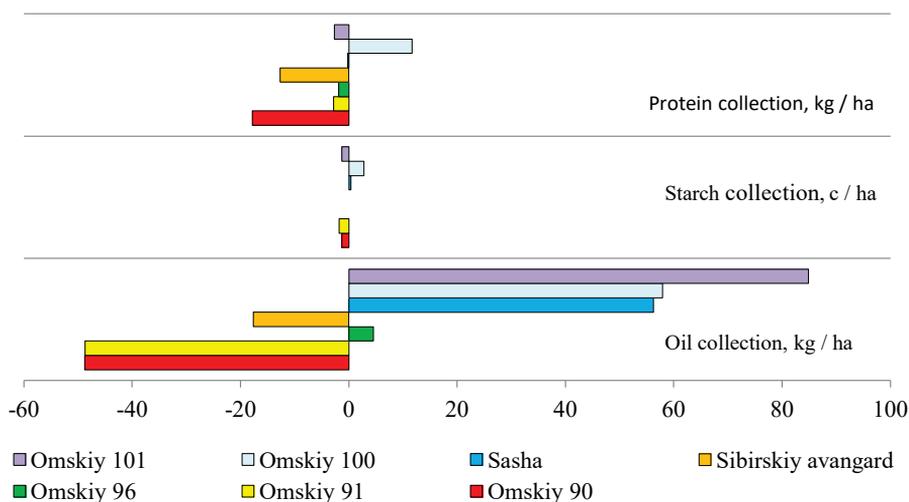


Fig. 2. The average harvest of nutrients from 1 hectare of the studied barley cultivars compared to the standard, ± st.

Для сорта Омский 101 характерен повышенный сбор белка (569,5 кг/га; +84,9 кг/га к st.) за счет повышенных значений как урожайности (+0,5 т/га к st.), так и содержания в зерне белка (+0,7 % к st.).

Сорт Саша (включен в Госреестр в 2012 г.) также имел повышенный сбор белка (540,8 кг/га; +56,2 кг/га к st.) за счет повышенных урожайности (+0,4 т/га к st.) и содержания в зерне белка (+0,2 % к st.).

Выводы

1. Селекция ячменя с 2000 по 2019 гг. имела направленность на создание засухоустойчивых сортов. Отражается данный факт на формировании сортами повышенных продуктивности и качества зерна в сухих и засушливых периодах вегетации на фоне их снижения в условиях оптимального увлажнения.

2. Селекционный процесс с 2000 по 2019 гг. основывался на повышении урожайности вновь создаваемых сортов (от 3,6 т/га у сорта Омский 90 до 4,7 т/га у сорта Омский 101). Качество зерна при этом у вновь создаваемых сортов снижалось:

– по содержанию белка от 14,0 % у сорта Омский 90 (включен в Госреестр в 2000 г.) до 13,3 % у сорта Омский 100 (2019 г.);

– по содержанию крахмала от 57,5 % у сорта Омский 90 до 55,8 % у сорта Саша (2012 г.);

– пленчатость зерна возрастала от 8,2 % у сорта Омский 90 до 9,1 % у сорта Саша.

3. Формированием повышенных показателей качества зерна и продуктивности в контрастных по климатическим характеристикам периодах вегетации (сухие, засушливые, оптимального влагообеспечения) характеризовались новые перспективные сорта:

– Омский 100 (включен в Госреестр в 2019 г.) по массе 1000 зерен (+3,8 г к st.), урожайности (+0,6 т/га к st.), по сбору белка (+ 57,9 кг/га к st.), крахмала (+0,3 т/га к st.) и сырого жира (+ 11,7 кг/га к st.).

– Омский 101 (передан на ГСИ в 2018 г.) наблюдается повышенный сбор белка с 1 га (+84,9 кг/га к st.) за счет превышения по урожайности (+0,5 т/га к st.) и массовой доли белка (+0,7 % к st.) в зерне. На этом же уровне отмечена прибавка к стандарту по массовой доле крахмала (+0,7 % к st.).

Библиографический список

1. Kuzina E.V., Davletshin T.K., Silishchev N.N. Effectiveness of the Elena Biopreparation used the summer Barley // *Agricultural Biology*. 2010. № 4. Pp. 100—104.

2. Khokhar M.I., Da Silva J.A.T. Evaluation of Drought Tolerance and Yield Capacity of Barley (*Hordeum Vulgare*) Genotypes under irrigated And Water-Stressed Conditions // *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2012. № 3(49). P. 307—313.

3. Rapacz M., Stepień A., Skorupa K. Internal Standards for quantitative rt-pcr studies of gene expression under drought Treatment in Barley (*hordeum vulgare* l.): the Effects of developmental Stage and Leaf Age // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012. № 5 (34). P. 1723—1733. doi: 10.1007/s11738-012-0967-1

4. Yadav R.R., Misra K.G., Yadava A.K., Kotlia B.S., Misra S. Tree-ring Footprints of Drought variability In Last ~300 years over Kumaun Himalaya, India and its relationship with crop Productivity // *Quaternary Science Reviews*. 2015. № 117. P. 113—123. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.04.003

5. Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2006.
6. Аниськов Н.И., Калашник Н.А., Козлова Г.Я., Поползухин П.В. Голозерный ячмень в Западной Сибири. Омск: Сфера, 2007.
7. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А. Интегрированная оценка адаптивной способности образцов ячменя из коллекции ВИР в условиях Красноярской лесостепи // Достижение науки и техники АПК. 2016. № 30(6). С. 32—35.
8. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sci.* 1966. Vol. 6. № 1. P. 36—40.
9. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирования качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
10. Пleshkov B.B. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 120 с.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 256 с.
12. Hill C.B., Li C. Genetic Architecture of Flowering Phenology in cereals and Opportunities for crop Improvement // *Frontiers in Plant Science.* 2016. № 7. P. 1906—1910. doi: 10.3389/fpls.2016.01906
13. Пономарёва Ю.Н., Захарова О.А. Действие минеральных удобрений и регулятора роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи // Вестник Рязанского государственного агроэкологического университета им. П.А. Костычева. 2015. № 3 (27). С. 36—42.
14. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 2. С. 42—49. doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49
15. Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 44—55. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

References

1. Kuzina EV, Davletshin TK, Silishchev NN. Effectiveness of the Elena Biopreparation used the summer Barley. *Agricultural Biology*, 2010;4:100—104.
2. Khokhar MI, Da Silva JT. Evaluation of drought tolerance and yield capacity of barley (*Hordeum vulgare*) genotypes under irrigated and water-stressed conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2012; 49 (3): 307—313.
3. Rapacz M, Stepień A, Skorupa K. Internal Standards for quantitative RT-PCR studies of gene expression under drought treatment in barley (*Hordeum vulgare* L.): the Effects of developmental stage and leaf age. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2012; 34(5):1723—1733. doi: 10.1007/s11738-012-0967-1
4. Yadav RR, Misra KG, Yadava AK, Kotlia BS, Misra S. Tree-ring footprints of drought variability in last ~300 years over Kumaun Himalaya, India and its relationship with crop productivity. *Quaternary Science Reviews*. 2015; 117:113—123. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.04.003
5. Rodina NA. *Selektsiya yachmenya na Severo-Vostoke Nечернозем'ya*. [Barley selection in the North-East of the Non-Black Earth Region]. Киров: NIISKh Severo-Vostoka publ.; 2006. (In Russ.).
6. Aniskov NI, Kalashnik NA, Kozlova GY, Popolzukhin PV. *Golozernyi yachmen' v Zapadnoi Sibiri* [Hullless barley in Western Siberia]. Омск: Сфера publ.; 2007. (In Russ.).
7. Surin NA, Lyakhova NE, Gerasimov SA. Integrated assessment of adaptive ability of barley samples from VIR collection under conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2016; 30(6):32—35. (In Russ.).
8. Eberhart SA, Russell WA. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966; 6(1):36—40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
9. Berkutova NS. *Metody otsenki i formirovaniya kachestva zerna* [Methods of grain quality evaluation and formation]. Moscow: Rosagropromizdat publ.; 1991. (In Russ.).
10. Pleshkov BV. *Praktikum po biokhimii rastenii* [Workshop on plant biochemistry]. Moscow: Kolos publ.; 1985. (In Russ.).
11. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Field experience methodology]. Moscow: Agropromizdat publ.; 1985. (In Russ.).
12. Hill CB, Li C. Genetic architecture of flowering phenology in cereals and opportunities for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2016; 7:1906—1910. doi: 10.3389/fpls.2016.01906

13. Ponomareva YN, Zakharova OA. The effect of mineral fertilizers and growth regulator on yield and quality of malt barley in drought conditions. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2015; (3):36—42. (In Russ.).

14. Nikolaev PN, Yusova OA, Safonova IV, Aniskov NI. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2020; 181(2):42—49. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

15. Yusova OA, Nikolaev PN, Bendina YB, Safonova IV, Aniskov NI. Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020; 181(4):44—55. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

Об авторах:

Юсова Оксана Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений федерального государственного бюджетного научного учреждения «Омский Аграрный научный центр», Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: yusova@55anc.ru
ORCID 0000-0003-3679-8985, AuthorID 547227

Николаев Петр Николаевич — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур федерального государственного бюджетного научного учреждения «Омский Аграрный научный центр», Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: nikolaev@55anc.ru
ORCID 0000-0002-5192-2967, AuthorID 834930

About authors:

Yusova Oksana Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Genetics, Biochemistry and Plant Physiology, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: yusova@55anc.ru
ORCID 0000-0003-3679-8985, AuthorID 547227

Nikolaev Petr Nikolayevich — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for the selection of grain crops, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: nikolaev@55anc.ru
ORCID 0000-0002-5192-2967, AuthorID 834930



DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325
УДК 633.112.1 «321»:631.8(470.56)

Научная статья / Research article

Последствие предшественников яровой твердой пшеницы на урожайность и содержание калия в почве при долголетних исследованиях на черноземе южном степной зоны Южного Урала

В.Ю. Скороходов 

Федеральный научный центр биологических систем
и агротехнологий российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
✉ skorohodov.vitali1975@mail.ru

Аннотация. Целью исследования являлось определение влияния предшественников яровой твердой пшеницы на продуктивность и содержание калия в бинарных, монопосевах и шестипольных севооборотах на двух уровнях минерального питания. Информация, полученная в результате долголетних опытов, представляет большой интерес, так как систематическое определение элементов питания в почве дает правильную оценку влияния длительного применения удобрений на почвенное плодородие. Рассмотрено содержание в почве доступных форм калия под посевом яровой твердой пшеницы в зависимости от различных предшественников на двух фонах питания. Лучшими предшественниками твердой пшеницы за 31 год исследования явились черные, почвозащитные и сидеральные пары. Урожайность твердой пшеницы по черному пару с 1 га составила 1,20 т на не удобренном фоне и 1,27 т на фоне с применением удобрений. Увеличению содержания калия в почве способствуют запаханная вегетативная масса возделываемых культур занятых паров и использование минеральных удобрений. Применение минеральных удобрений положительно влияет на продуктивность твердой пшеницы с прибавкой урожайности по почвозащитному пару — 0,10 т, мягкой пшенице — 0,11 т и озимой ржи — 0,13 т с 1 га. По запасам калия в почве севообороты имеют преимущество перед бинарными и монопосевами твердой пшеницы, сопровождающееся увеличением ее урожайности.

Ключевые слова: калий, почва, предшественник, продуктивность, яровая твердая пшеница, севооборот, монопосев, минеральные удобрения, бинарный посев

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2020—2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0003).

История статьи: поступила в редакцию 9 марта 2021 г.; принята к публикации 10 декабря 2021 г.

Скороходов В.Ю., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Для цитирования: Скороходов В.Ю. Последействие предшественников яровой твердой пшеницы на урожайность и содержание калия в почве при долготлетних исследованиях на черноземе южном степной зоны Южного Урала // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С.313—325. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325

Effect of forecrop on yield of spring durum wheat and soil potassium in chernozems of southern steppe zone in Southern Urals during long-term research

Vitaly Yu. Skorokhodov 

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, *Orenburg, Russian Federation*
✉ skorokhodov.vitali1975@mail.ru

Abstract. The goal of the study was to determine the influence of forecrops on spring durum wheat productivity and content of soil potassium in monoculture, double-cropping and six-year crop rotation at two types of nutrient statuses. The information obtained as a result of long-term experiments is of great interest, since systematic determination of nutrient elements in soil gives a correct assessment of the effect of the long-term use of fertilizers on soil fertility. Content of available forms of potassium in soil under spring durum wheat depending on different forecrops and nutrient statuses was studied. The best forecrops for durum wheat in 31-year experiments were black, soil-protecting and green fallows. The yield of durum wheat after black fallow was 1.20 t/ha under fertilization and 1.27 t/ha without using fertilizers. Vegetative mass of cropped fallow ploughed into soil and use of mineral fertilizers led to an increase in content of soil potassium. The use of mineral fertilizers has a positive effect on yield of durum wheat; the yield increase was 0.10 t/ha after soil protecting fallow, 0.11 t/ha after common wheat and 0.13 t/ha after winter rye. Content of soil potassium was higher in six-year crop rotation and it increased durum wheat productivity compared to double-cropping and monoculture.

Key words: potassium, soil, forecrop, productivity, spring durum wheat, crop rotation, monoculture, mineral fertilizers, double-cropping

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The study was carried out in accordance with the research plan for 2020—2021 of Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0761-2019-0003).

Article history: Received: 9 March 2021. Accepted: 10 December 2021.

For citation: Skorokhodov VY. Effect of forecrop on yield of spring durum wheat and soil potassium in chernozems of southern steppe zone in Southern Urals during long-term research. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4): 313—325. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325

Введение

Длительное использование черноземных почв при наращивании темпов производства продукции растениеводства в сельском хозяйстве требует оценки баланса питательных веществ в различных агроценозах [1—3].

Важная роль в формировании и поддержании плодородия почвы принадлежит калию [4, 5].

За последние десятилетия в практике сельского хозяйства России резко сократилось внесение удобрений, в т. ч. калийных, и как следствие этого — нарастающее истощение калием пахотных почв, наблюдаемое в разных сельскохозяйственных зонах страны [6—8]. Многие ученые отмечают ситуацию спада применения калийных удобрений, приводящую к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур и почвенного плодородия [9—11].

Фактор величины урожайности и сельскохозяйственных культур лимитируется недостатком калия в почве [12].

Сельскохозяйственные культуры за ротацию севооборота выносят значительное количество обменного калия, превышая порой почвенные запасы, что является свидетельством реализации ресурсов необменного калия [13].

Оптимальная влажность почвы способствует диффузии ионов калия к корням растений, на долю которой приходится обычно более 75 % от общей миграции почвенного калия. Недостаток почвенной влаги ограничивает миграцию в почве и поглощение калия растениями, что приводит к его дефициту. На доступность калия растениям сильно влияют свойства почвы. В почвах глинистого и тяжелосуглинистого механического состава отмечается высокая калий фиксирующая способность, что снижает отзывчивость растений на внесенные калийные удобрения в результате связывания большей части доступного калия с глинистыми минералами, способствующих снижению его потерь, создавая запас почвенного калия, который будет использован сельскохозяйственными культурами в последствии.

В Оренбургской области при возделывании яровой твердой пшеницы лучшим предшественником по результатам многочисленных исследований является паровое поле [14—17].

Зная поведение обменного калия в различные по увлажнению годы, можно, при наличии долгосрочного прогноза погоды, использовать полученные данные для определения потребности почв в калийных удобрениях.

Динамика содержания обменного калия в почве под сельскохозяйственными культурами в течение вегетационного периода зависит от биологических особенностей возделываемых культур и погодных условий.

В этой связи определение потенциальных почвенных запасов доступного растениям калия, изменение их содержания в многолетней динамике в черноземе южном при его интенсивном сельскохозяйственном использовании позволяет контролировать плодородие почвы, обоснованно и активно вмешиваться в круговорот и баланс питательных веществ в различных агроэкосистемах.

В современных условиях информация, полученная в результате многолетних опытов, представляет большой интерес, так как систематическое определение элементов питания в почве по ротациям севооборота дает правильную оценку влияния длительного применения удобрений на почвенное плодородие [18].

Цель исследования — определить влияние предшественников яровой твердой пшеницы на продуктивность и содержание калия в бинарных, монопосевах и шестипольных севооборотах на двух уровнях минерального питания в течение длительного времени.

Материалы и методы исследования

Объект исследования — яровая твердая пшеница (сорт Оренбургская 21), возделываемая по различным паровым предшественникам и озимой ржи в севооборотах, непаровым — в бинарных и монопосевах.

Схема опыта:

1. Твердая пшеница по озимой ржи (в первом севообороте).
2. Твердая пшеница по черному пару (во втором севообороте).
3. Твердая пшеница по почвозащитному пару (в третьем севообороте).
4. Твердая пшеница по сидеральному пару (в четвертом севообороте).
5. Твердая пшеница по мягкой пшенице (бинарный севооборот).
6. Твердая пшеница по кукурузе на силос (бинарный севооборот).
7. Монопосев твердой пшеницы.

Вид пара и набор культур в севооборотах: в первом — пар черный, озимая рожь, твердая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, ячмень, во втором — пар черный, твердая пшеница, мягкая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, ячмень, в третьем — пар почвозащитный занятый летним посевом суданской травы, твердая пшеница, мягкая пшеница, кукуруза на силос, мягкая пшеница, ячмень, в четвертом — пар сидеральный со смешанным посевом гороха и овса, твердая пшеница, мягкая пшеница, кукуруза на силос, ячмень.

Опыты закладывались в четырехкратной повторности. Общая площадь делянок составляет 648 м², при ширине 7,2 м и длине 90 м. Длина делянок удобренного фона 30 м, неудобренного — 60 м. Учетная площадь уборки яровой твердой пшеницы на удобренном фоне равна 60 м², неудобренном — 120 м².

Агротехника возделывания полевых культур в севообороте — принятая для Центральной зоны Оренбургской области.

Статистическую обработку данных полевого опыта проводили с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office и применением программы Excel (Microsoft, США), данные обрабатывали в Statistica 12.0 (Stat Soft Inc, США) методом множественной регрессии.

Результаты исследований и обсуждение

Проведенные длительные исследования имеют большой охват многообразия погодных условий, что является ценным в плане изучения возделывания сельскохозяйственных культур под действием различных метеофакторов и получения наибольшей их продукции высокого качества. В нашем эксперименте мы рассматриваем возможность эффективного возделывания ценной сельскохозяйственной культуры яровой твердой пшеницы по различным предшественникам в шестипольных севооборотах, бинарных и монопосевах с 1990 по 2020 гг.

За годы эксперимента отмечено семь незначительно засушливых (ГТК по Селянинову = 0,8 и более единиц), шесть засушливых (ГТК = 0,6...0,8) и 18 из 31 очень засушливых (ГТК = 0,6 и менее) вегетационных периодов (табл. 1). Две трети (77 %) исследуемых лет были засушливыми и очень засушливыми, с различными видами атмосферной и почвенной засухи, что создавало стрессовую ситуацию для роста и формирования продуктивности яровой твердой пшеницы. Урожайность твердой пшеницы отсутствовала 4 года из 31 по причине засухи, вызванной повышенной температурой воздуха, небольшим количеством или отсутствием атмосферных осадков в период вегетации. За 31 год исследований продуктивность яровой твердой пшеницы выше на фоне с применением минеральных удобрений, т. е. отмечается положительный эффект от их использования. Максимальная урожайность твердой пшеницы на неудобренном фоне питания составила 3,50 т/га в 1994 г., на удобренном — 3,80 т/га в 1993 г. На графике (рис. 1) отчетливо прослеживается зависимость урожайности культуры и ГТК. Кривая урожайности фактически копирует показатель ГТК. Резкие изменения погодных условий создают дополнительную стрессовую ситуацию для произрастания растений, оказывают влияние на микробиологическую жизнедеятельность, накопление и использование питательных элементов (в частности K_2O) в почве.

Таблица 1

Показатель гидротермического коэффициента (ГТК) с его характеристикой и урожайность яровой твердой пшеницы на двух фонах питания (в среднем по всем предшественникам) по годам исследований, сгруппированных по ранжиру засушливости

Характеристика вегетационного периода	Годы эксперимента	ГТК вегетационного периода	Средняя урожайность по фонам питания, т/га	
			Удобренный фон	Неудобренный фон
I —незначительно засушливый (ГТК = 0,8 и более)	1990	0,99	3,23	2,99
	1992	0,89	1,22	1,17
	1994	1,29	3,76	3,50
	1997	0,96	1,99	2,00
	2000	1,51	1,38	1,26
	2003	1,09	1,94	1,77
	2013	0,82	0,94	0,72
II —засушливый (ГТК = 0,6...0,8)	1993	0,76	3,80	3,39
	1999	0,61	1,22	1,10
	2006	0,63	0	0
	2007	0,75	0,83	0,76
	2008	0,70	1,37	1,16
	2019	0,65	0,45	0,44

Окончание табл. 1

Характеристика вегетационного периода	Годы эксперимента	ГТК вегетационного периода	Средняя урожайность по фонам питания, т/га	
			Удобренный фон	Неудобренный фон
III – очень засушливый (ГТК = 0,6 и менее)	1991	0,29	1,07	1,13
	1995	0,27	0,54	0,46
	1996	0,38	1,35	1,16
	1998	0,19	0,15	0,15
	2001	0,38	1,02	0,97
	2002	0,46	0,87	0,80
	2004	0,50	0,87	0,76
	2005	0,44	0	0
	2009	0,56	1,26	1,26
	2010	0,15	0	0
	2011	0,59	1,43	1,22
	2012	0,34	0,80	0,71
	2014	0,24	0,09	0,11
	2015	0,57	0	0
	2016	0,33	0,54	0,21
	2017	0,46	1,58	1,64
	2018	0,34	0,37	0,37
2020	0,30	0,80	0,77	

Table 1

Effect of nutrient status and hydrothermal coefficient (HC) on yield of spring durum wheat (on average for all forecrops)

Characteristics of the growing season	Year of experiment	Hydrothermal coefficient	Average yield, t/ha	
			Under fertilization	Without fertilization
I – slightly arid (HC = 0.8 and more)	1990	0.99	3.23	2.99
	1992	0.89	1.22	1.17
	1994	1.29	3.76	3.50
	1997	0.96	1.99	2.00
	2000	1.51	1.38	1.26
	2003	1.09	1.94	1.77
	2013	0.82	0.94	0.72
II – arid (HC = 0.6...0.8)	1993	0.76	3.80	3.39
	1999	0.61	1.22	1.10
	2006	0.63	0	0
	2007	0.75	0.83	0.76
	2008	0.70	1.37	1.16
2019	0.65	0.45	0.44	
III – extremely arid (HC = 0.6 and less)	1991	0.29	1.07	1.13
	1995	0.27	0.54	0.46
	1996	0.38	1.35	1.16
	1998	0.19	0.15	0.15
	2001	0.38	1.02	0.97
	2002	0.46	0.87	0.80
	2004	0.50	0.87	0.76
	2005	0.44	0	0
	2009	0.56	1.26	1.26
	2010	0.15	0	0
	2011	0.59	1.43	1.22
	2012	0.34	0.80	0.71
	2014	0.24	0.09	0.11
	2015	0.57	0	0
	2016	0.33	0.54	0.21
	2017	0.46	1.58	1.64
	2018	0.34	0.37	0.37
2020	0.30	0.80	0.77	

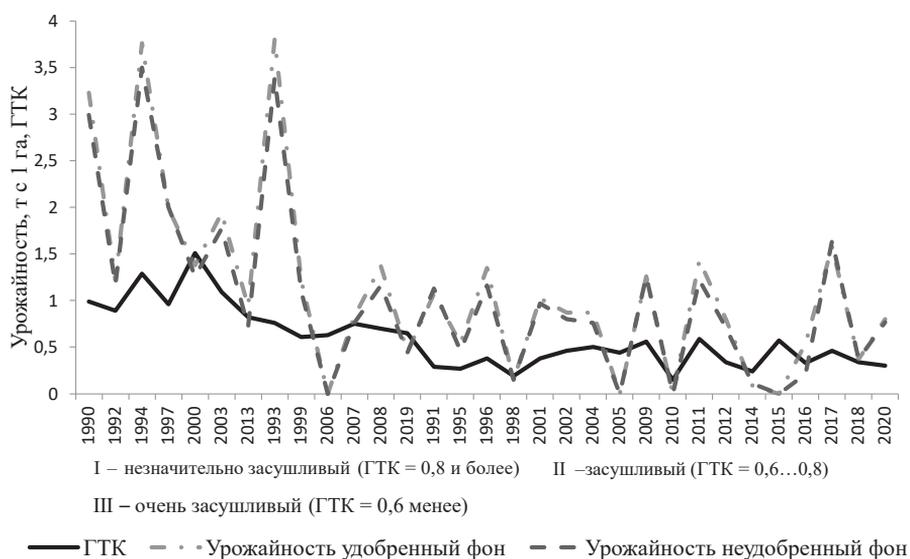


Рис. 1. Зависимость уровня урожайности яровой твердой пшеницы на двух фонах питания от показателя ГТК вегетационного периода по годам исследований (1990–2020 гг.)

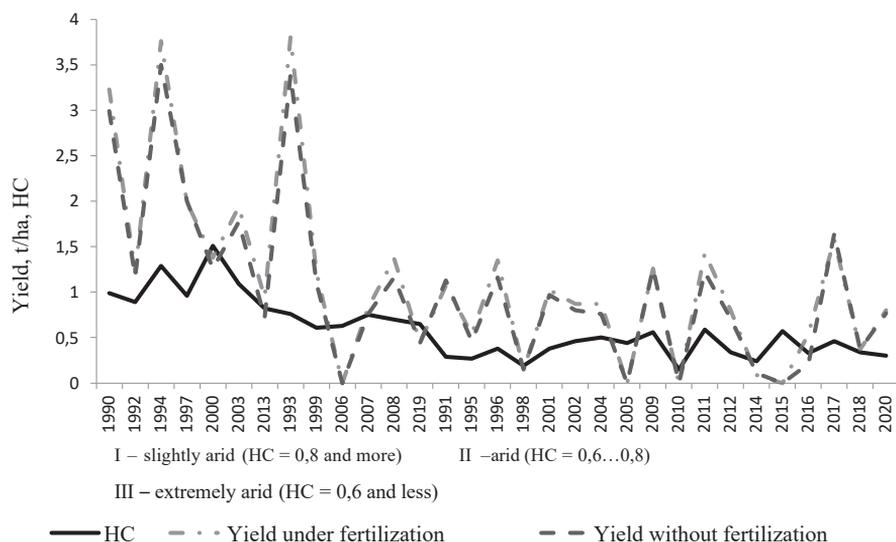


Fig. 1. Effect of hydrothermal coefficient (HC) of the growing season on yield of spring durum wheat depending on nutrient status in 1990–2020

Итоги регрессии урожайности яровой твердой пшеницы в варианте по озимой ржи на двух фонах питания в сопряжении с ГТК вегетационных периодов 1990–2020 гг. свидетельствуют о высоком уровне значимости $P\text{-уров.} = 0,0004$ (табл. 2).

Таблица 2

**Зависимость урожайности яровой твердой пшеницы
по озимой ржи на двух фонах питания от ГТК вегетационного периода 1990–2020 гг.**

Фон питания	№ =25	БЕТТА	Стд. ош.	B	Стд. ош.	t(23)	P-уров.
Удобренный	Св. член			0,0818	0,3378	0,2422	0,8108
	ГТК за вегетацию	0,6489	0,1586	1,9859	0,4855	4,0905	0,0004
		R = 0,64 F(1,23) = 16,73 P < 0,0004					
Неудобренный	Св. член			0,1169	0,2882	0,4055	0,6888
	ГТК за вегетацию	0,6466	0,1590	1,6844	0,4143	4,0651	0,0004
		R = 0,65 F(1,23) = 16,52 P < 0,0004					

Table 2

**Effect of hydrothermal coefficient of the growing season on yield
of spring durum wheat depending on nutrient status in 1990–2020**

Nutrient status	№ =25	Beta	Std Err	B	Std Err	t(23)	P-level
Fertilized	Intercept			0.0818	0.3378	0.2422	0.8108
	HC for growing season	0.6489	0.1586	1.9859	0.4855	4.0905	0.0004
		R = 0.64 F(1.23) = 16.73 P < 0.0004					
Unfertilized	Intercept			0.1169	0.2882	0.4055	0.6888
	HC for growing season	0.6466	0.1590	1.6844	0.4143	4.0651	0.0004
		R = 0.65 F(1.23) = 16.52 P < 0.0004					

Доля влияния фактора ГТК вегетационного периода на урожайность твердой пшеницы на удобренном фоне составляет 65 %, на фоне с использованием минеральных удобрений — 64 %.

Между свежееотобранными (влажными) и высушенными до воздушно-сухого состояния образцами почвы установлены существенные различия в содержании разных форм калия. В образцах почвы при естественной полевой влажности (невысушенных) отмечаются более высокие значения элементов питания по сравнению с высушенными образцами. В наших исследованиях для определения элементов питания в почве использовались высушенные образцы. В табл. 3 приведены среднееголетние данные по урожайности яровой.

Содержание калия в почве под посевами яровой твердой пшеницы и ее урожайность в зависимости от предшественника и фона питания в среднем за 1990–2020 гг.

Показатели		Фон питания	Вариант предшественника твердой пшеницы							
			Озимая рожь	Пар черный	Пар почвозащитный	Пар сидеральный	Мягкая пшеница	Кукуруза на силос	Монопосев твердой пшеницы	
Урожайность	т/га	I	1,20	1,27	1,26	1,26	1,00	1,05	0,87	
		II	1,07	1,20	1,16	1,21	0,89	0,99	0,79	
		разность + или –	+0,13	+0,07	+0,10	+0,05	+0,11	+0,06	+0,08	
	НСП ₀₅ по факторам	A	0,47	0,47	0,47	0,45	0,39	0,41	0,34	
		B	0,40	0,47	0,45	0,46	0,34	0,38	0,30	
		A+B	0,11	0,10	0,08	0,06	0,09	0,11	0,08	
Содержание калия в почве	в начале вегетации	мг на 100 г почвы	I	46,8	44,6	43,9	44,4	39,8	39,7	39,8
			II	43,1	42,2	41,3	42,3	39,5	37,6	38,3
			разность + или –	+3,7	+2,4	+2,6	+2,1	+0,3	+2,1	+1,5
		НСП ₀₅ по факторам	A	2,72	2,93	3,00	3,09	2,35	2,01	2,52
			B	2,68	3,31	3,54	3,37	2,36	2,13	2,24
			A+B	2,31	2,21	2,11	2,36	1,65	1,42	1,89
	в конце вегетации	мг на 100 г почвы	I	44,1	44,4	43,3	40,4	36,7	35,2	35,7
			II	40,7	39,6	39,8	38,3	34,7	34,8	35,0
			разность + или –	+3,4	+4,8	+3,5	+2,1	+2,0	+0,4	+0,7
		НСП ₀₅ по факторам	A	2,80	3,46	3,62	2,52	2,41	2,33	2,38
			B	3,38	2,72	2,99	2,54	2,15	2,46	2,47
			A+B	2,02	2,34	2,40	2,12	1,83	2,01	2,20
Израсходованный калий за период вегетации		I	2,7	0,2	0,6	4,0	3,1	4,5	4,1	
		II	2,4	2,6	1,5	4,0	4,8	2,8	3,3	

Примечание: I – удобрённый фон; II – неудо́ренный

Table 3

Effect of forecrop and nutrient status on potassium content in soil and yield of spring durum wheat (1990–2020)

Indicators		Nutrient status	Forecrop							
			Winter rye	Black fallow	Soil-protecting fallow	Green fallow	Common wheat	Green corn	Durum wheat monoculture	
Yield	t/ha	I	1,20	1,27	1,26	1,26	1,00	1,05	0,87	
		II	1,07	1,20	1,16	1,21	0,89	0,99	0,79	
		difference + or -	+0,13	+0,07	+0,10	+0,05	+0,11	+0,06	+0,08	
	LSD ₀₅ by factors	A	0,47	0,47	0,47	0,45	0,39	0,41	0,34	
		B	0,40	0,47	0,45	0,46	0,34	0,38	0,30	
		A+B	0,11	0,10	0,08	0,06	0,09	0,11	0,08	
Potassium content in soil	Early in growing season	mg/100 g soil	I	46,8	44,6	43,9	44,4	39,8	39,7	39,8
			II	43,1	42,2	41,3	42,3	39,5	37,6	38,3
			difference + or -	+3,7	+2,4	+2,6	+2,1	+0,3	+2,1	+1,5
		LSD ₀₅ by factors	A	2,72	2,93	3,00	3,09	2,35	2,01	2,52
			B	2,68	3,31	3,54	3,37	2,36	2,13	2,24
			A+B	2,31	2,21	2,11	2,36	1,65	1,42	1,89
	Late in growing season	mg/100 g soil	I	44,1	44,4	43,3	40,4	36,7	35,2	35,7
			II	40,7	39,6	39,8	38,3	34,7	34,8	35,0
			difference + or -	+3,4	+4,8	+3,5	+2,1	+2,0	+0,4	+0,7
		LSD ₀₅ by factors	A	2,80	3,46	3,62	2,52	2,41	2,33	2,38
			B	3,38	2,72	2,99	2,54	2,15	2,46	2,47
			A+B	2,02	2,34	2,40	2,12	1,83	2,01	2,20
Potassium absorbed during the growing season		I	2,7	0,2	0,6	4,0	3,1	4,5	4,1	
		II	2,4	2,6	1,5	4,0	4,8	2,8	3,3	

Note. I – Under fertilization; II – Without fertilization

В среднем за 31 год исследований урожайность твердой пшеницы по черному пару составила 1,27 и 1,20 т, по почвозащитному — 1,26 и 1,16 т, по сидеральному — 1,26 и 1,21 т с 1 га соответственно по удобренному и неудобренному фону. Данные (табл. 3) свидетельствуют о преимуществе в содержании К₂O при внесении минеральных удобрений. В варианте твердой пшеницы по озимой ржи весной в среднем за годы исследований аккумулировалось большее количество К₂O на двух фонах питания. Прежде всего, данное обстоятельство связано с дополнительным поступлением растительных остатков озимой ржи в виде соломы, способствующих увеличению запасов калия в почве. Достаточно высокое среди других вариантов опыта среднесуточное содержание калия отмечается весной в посевах твердой пшеницы по занятым (почвозащитному 43,9 мг на удобренном, 41,3 на неудобренном фоне, сидеральному 44,4 и 42,3 мг на 100 г почвы соответственно фону) парам. Запаханная вегетативная масса возделываемых полевых культур занятых паров способствует увеличению содержания калия в почве. В период от посева до уборки яровой твердой пшеницы отмечается общее снижение содержания запасов калия на двух фонах питания по всем предшественникам. Наибольшее потребление калия на удобренном фоне по предшественникам: кукуруза на силос — 4,5 мг, мягкая пшеница — 4,1 мг, сидеральный пар — 4,0 мг и монополев твердой пшеницы — 4,1 мг на 100 г почвы.

На неудобренном фоне потребление калия твердой пшеницей в последствии сидерального пара составило 4,0 мг, по мягкой пшенице — 4,8 мг на 100 г почвы. В последствии почвозащитного занятого летним посевом суданской травы пара потребляется за вегетацию небольшое количество калия на двух фонах питания относительно других изучаемых вариантов.

Выводы

1. Возделывание яровой твердой пшеницы по различным предшественникам имеет зависимость от гидротермических условий вегетационного периода. Две трети (77 %) исследуемых лет характеризовались различными видами засухи и были засушливыми и очень засушливыми.

2. Максимальная урожайность яровой твердой пшеницы за годы исследований на удобренном фоне составила 3,50 т, при использовании минеральных удобрений — 3,80 т с 1 га. Применение минеральных удобрений положительно влияет на продуктивность твердой пшеницы с прибавкой урожайности по озимой ржи — 0,13 т, почвозащитному пару — 0,10 т и мягкой пшенице — 0,11 т с 1 га.

3. Севообороты имеют преимущество перед бинарными и монопосевами по запасам калия в почве, сопровождающееся увеличением урожайности твердой пшеницы.

Библиографический список

1. Лукин С.В., Васенев И.И., Цыгуткин А.С. Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания обменного калия в черноземах западной части ЦЧО // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 8. С. 42—46.

2. Баршадская С.И., Квашин А.А., Дереча В.И. Плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность основных сельскохозяйственных культур // *Плодородие*. 2011. № 2. С. 36—39.
3. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Ильин Б.С., Боева Н.Н. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах // *Агрохимия*. 2020. № 2. С. 14—19. doi: 10.31857/S000218812002009X
4. Брехов П.Т., Мязин Н.Г. Формы калия в черноземе типичном при многолетнем внесении удобрений // *Агрохимический вестник*. 2012. № 4. С. 5—7.
5. Чекмарёв П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг калийного режима черноземов ЦЧР // *Достижение науки и техники АПК*. 2011. № 8. С. 3—6.
6. Гамзиков Г.П. Обеспеченность почв калием и эффективность калийных удобрений в земледелии Сибири // *Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений: материалы науч.-практ. конф. М.: ЦИНАО, 2002. С. 85—94.*
7. Конончук В.В., Никитина Л.В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светло-каштановой почвы при орошении // *Агрохимия*. 2002. № 6. С. 53—58.
8. Лукин С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 2012. № 12. С. 5—14.
9. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Изменение калийного режима чернозема обыкновенного под влиянием систематического внесения минеральных удобрений // *Агрохимический вестник*. 2012. № 2. С. 5—7.
10. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения (практическое руководство). М.: Ледум, 2000. 185 с.
11. Шафронов О.Д., Большова Н.А. Содержание калия в почвах Нижегородской области и применение калийных удобрений // *Плодородие*. 2002. № 2(5). С. 8—9.
12. Мюррелл Т.С. Надо ли применять калийные удобрения? // *Вестник Международного института питания растений*. 2014. № 4. С. 2—4.
13. Скороходов В.Ю. Накопление и использование К₂O посевами яровой твердой пшеницы и озимой ржи в весенне-летний период на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Известия ОГАУ*. 2019. № 6(80). С. 64—69.
14. Бесалиев И.Н., Крючков А.Г. Обеспеченность растений яровой твердой пшеницы азотом в зависимости от условий агротехники и ее урожайность // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 5(61). С. 27—30.
15. Бесалиев И.Н., Тухфатуллин М.Ф. Урожайность сортов твердой пшеницы на фоне различных видов основной обработки почвы в Оренбургском Предуралье // *Известия ОГАУ*. 2009. Т. 1. № 2(21). С. 22—23.
16. Сандакова Г.Н. Твердая пшеница в целинных районах Оренбургского Зауралья: перспективы производства // *Известия ОГАУ*. 2004. № 1. С. 30—31.
17. Скороходов В.Ю. Уровень биологической активности почвы и содержание нитратного азота под посевами яровой твердой пшеницы в последствии черного кулисного пара на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Известия ОГАУ*. 2020. № 3(83). С. 51—56. doi: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-51-57
18. Никитина Л.В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы // *Плодородие*. 2015. № 6(87). С. 5—7.

References

1. Lukin SV, Vasenev II, Cigutkin AS. Agroecological evaluation of exchangeable potassium long-term dynamics in chernozems at the western part of Central Chernozemic region of Russia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2010; (8):42—46. (In Russ.).
2. Barshadskaya SI, Kvashin AA, Dereka VI. Fertility of ordinary chernozem and the yielding capacity of the main agricultural crops. *Plodorodie*. 2011; (2):36—39. (In Russ.).
3. Lazarev VI, Lazareva RI, Ilyin BS, Boeva NN. Potash regime in typical chernozem under its long-term agricultural use in different agroecosystems. *Agrohimia*. 2020; (2):14—19. (In Russ.). doi: 10.31857/S000218812002009X
4. Brekhov PT, Myazin NG. Potassium forms on typical chernozem while long-term application of fertilizers. *Agrochemical Herald*. 2012; (4):5—7. (In Russ.).

5. Chekmarev PA, Lukin SV, Siskevich YI, Yumashev NP, Korchagin VI, Khizhnyakov AN. Monitoring of potassium regime of chernozems in Central Black Earth Region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011; (8):3—6. (In Russ.).
6. Gamzikov GP. Soil supply with potassium and the effectiveness of potash fertilizers in agriculture in Siberia. In: *Ecological and agrochemical assessment of the state of the potassium regime of soils and the effectiveness of potash fertilizers: conference proceedings*. Moscow: TsINAO publ.; 2002. p.85—94. (In Russ.).
7. Kononchuk VV, Nikitina LV. The influence of the systematic application of fertilizers on the potassium balance and some indicators of the potassium regime of light chestnut soil during irrigation. *Agrohimia*. 2002; (6):53—58. (In Russ.).
8. Lukin SM. Potassium status and budget in sandy loamy soddy-podsolic soil under long-term fertilization. *Agrohimia*. 2012; (12):5—14. (In Russ.).
9. Shustikova EP, Shapovalova NN. Change in potash regime of ordinary chernozem under the influence of the systematic application of mineral fertilizers. *Agrochemical Herald*. 2012; (2):5—7. (In Russ.).
10. Prokoshev VV, Deryugin IP. *Kalii i kaliinye udobreniya* [Potassium and potash fertilizers]. Moscow: Ledum publ.; 2000. (In Russ.).
11. Shafronov OD, Bolshova NA. Potassium content in soils of the Nizhny Novgorod region and the use of potash fertilizers. *Plodorodie*. 2002; (2):8—9. (In Russ.).
12. Murrell TS. Do I need to use potash fertilizers? *Bulletin of the International Plant Nutrition Institute*. 2014; (4):2—4. (In Russ.).
13. Skorokhodov VY. Accumulation and use of K₂O by spring wheat and winter rye on south chernozems of the Orenburg Preduralye in the spring-summer period. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2019; (6):64—69. (In Russ.).
14. Besaliev IN, Kryuchkov AG. Provision of spring durum wheat with nitrogen in conformity with agrotechnics and its yielding capacity. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2016; (5):27—30. (In Russ.).
15. Besaliev IN, Tukhfatullin MF. The yielding capacity of hard wheat varieties as dependent on soil cultivation practices. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2009; (1):22—23. (In Russ.).
16. Sandakova GN. Prospects of hard wheat growing on the virgin lands of the Ural zone of Orenburg region. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2004; (1):30—31. (In Russ.).
17. Skorokhodov VY. The level of soil biological activity and the content of nitrate nitrogen in soils under spring durum wheat as an aftereffect of coulisse fallow on southern chernozem lands of Orenburg Priuralye. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2020; (3):51—56. (In Russ.). doi: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-51-57
18. Nikitina LV. Effect and aftereffect of different fertilizing systems in a long-term field experiment on the potassium status in clay loamy soddy-podzolic soil. *Plodorodie*. 2015; (6):5—7. (In Russ.).

Об авторе:

Скороходов Виталий Юрьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр-т Гагарина, д. 27/1; e-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru
ORCID0000-0003-4179-7784

About the author:

Skorokhodov Vitaly Yurievich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarina Avenue, Orenburg, 460051, Russian Federation; e-mail: skorokhodov.vitali1975@mail.ru
ORCID 0000-0003-4179-7784



Защита растений Plant protection

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-326-336

УДК 581.2:633.18:632.938

Научная статья / Research article

Скрининг генов устойчивости к пирикулярриозу у селекционных образцов риса

Н.Н. Вожжова  , О.С. Жогалева , Н.Т. Купрейшвили ,
А.Ю. Дубина , П.И. Костылев 

Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

 nvozhzh@gmail.com

Аннотация. Рис — одна из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур в мире. Для решения проблемы продовольственной безопасности России необходимо увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур или расширять их посевные площади. В связи с невозможностью в настоящее время расширения посевных площадей риса в Ростовской области и необходимостью поддержания и увеличения его урожайности, необходимо создавать новые, устойчивые к болезням сорта. Генотипы риса, имеющие несколько генов устойчивости к пирикулярриозу, избегают значительных потерь урожая. Так как пирамидирование и отбор генов устойчивости в одном генотипе традиционными методами селекции осложнен, актуальным является поиск гомозиготных образцов методами маркер-вспомогательной селекции. Цель исследования — идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса методами MAS. В исследовании использовались СТАВ-метод выделения ДНК, ПЦР, электрофорез на агарозных и полиакриламидных гелях. Полученные гели окрашивались в растворе этидиум бромидом и фотографировались в ультрафиолете. В качестве контроля наличия генов устойчивости к пирикулярриозу использовали следующие родительские сорта: С104-LAC — для генов Pi-1 и Pi-33, С101-А-51 — для гена Pi-2, IR36 — для гена Pi-ta; Новатор и Боярин как контроли не функциональных аллелей всех изучаемых генов. Анализировалось 446 селекционных образцов седьмого поколения F7. Выявлено 127 образцов риса, сочетающих 2 или 3 различных гена устойчивости к пирикулярриозу. У 43 образцов (1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4 и др.) идентифицировано соче-

© Вожжова Н.Н., Жогалева О.С., Купрейшвили Н.Т., Дубина А.Ю., Костылев П.И., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

тание генов Pi-2 и Pi-33. Наиболее интересны для отбора и дальнейшей селекционной работы образцы с 3 генами устойчивости. Рекомендуем использовать образцы риса с сочетаниями генов устойчивости Pi-1+Pi-2+Pi-33 (1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2), Pi-1+Pi-2+Pi-ta (1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1) и Pi-2+Pi-33+Pi-ta (1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3) для создания новых устойчивых к пирикулярриозу сортов.

Ключевые слова: пирикулярриоз риса, Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-ta, гены устойчивости, рис

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «АНЦ «Донской» № 0706-2019-0003.

Участие авторов: Вожжова Н.Н. — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание текста; Жогалева О.С., Дубина А.Ю., Купрейшвили Н.Т. — проведение лабораторных анализов; Костылев П.И. — концепция и дизайн исследования, сбор материалов.

История статьи: поступила в редакцию 12 октября 2021 г., принята к публикации 23 ноября 2021 г.

Для цитирования: Вожжова Н.Н., Жогалева О.С., Купрейшвили Н.Т., Дубина А.Ю., Костылев П.И. Скрининг генов устойчивости к пирикулярриозу у селекционных образцов риса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 326—336. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-326-336

Screening of blast resistance genes in rice breeding samples

Nataliya N. Vozhzhova  , Olga S. Zhogaleva , Natia T. Kupreyshvili ,
Angelina Y. Dubina , Pavel I. Kostylev 

Agrarian Science Center 'Donskoy', Zernograd, Russian Federation

 nvozhzh@gmail.com

Abstract. Rice is one of the most widespread and cultivated crops in the world. It is necessary to increase the yield of crops or expand their sown areas to resolve a food security problem in Russia. Current impossibility of expanding rice cultivated areas in the Rostov region and the need to maintain and increase its yield require developing new disease-resistant varieties. Rice genotypes with multiple blast resistance genes avoid significant yield losses. Since pyramiding and selection of resistance genes in the same genotype through traditional selection methods are complicated, it is urgent to search for homozygous samples using marker-assisted selection methods. This study was aimed to identify Pi-1, Pi-2, Pi-33 and Pi-ta blast resistance genes in breeding rice samples by MAS-methods. The study used CTAB-method for DNA-isolation, PCR, electrophoresis on agarose and polyacrylamide gels. The resulting gels were stained in a solution of ethidium bromide and photographed in ultraviolet light. To control the presence of blast resistance genes the following parental cultivars were used: C104-LAC for the Pi-1 and Pi-33 genes, C101-A-51 for the Pi-2 gene, IR36 for the Pi-ta gene; Novator and Boyarin as controls of non-functional alleles of all studied genes. The 446 selection samples of the seventh generation were analyzed. As a result of the research, 127 rice samples that combine 2 or 3 different blast resistance genes were identified. The Pi-2 and Pi-33 genes combination was identified in 43 samples (1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4, et al.). Samples with three resistance genes are the most interesting for selection and further breeding. For developing new blast-resistant varieties, we recommend using rice samples with the following combinations of resistance genes Pi-1+Pi-2+Pi-33 (1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2), Pi-1+Pi-2+Pi-ta (1197/4,

1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1) and Pi-2+Pi-33+Pi-ta (1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3).

Key words: rice blast, Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-ta, resistance genes, rice

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State Assignment of Agrarian Science Center ‘Donskoy’ No. 0706-2019-0003.

Author contributions. NNV, PIK conceived and designed the experiments; OSZ, AYD, NTK performed laboratory analyses; PIK collected the data; NNV analyzed the data and wrote the manuscript.

Article history:

Received: 12 October 2021. Accepted: 23 November 2021.

For citation:

Vozzhova NN, Zhogaleva OS, Kupreyshvili NT, Dubina AY, Kostylev PI. Screening of blast resistance genes in rice breeding samples. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):326—336. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-326-336

Введение

Рис относится к числу наиболее распространенных в мире сельскохозяйственных культур. Он повсеместно используется в пищу, а в странах Азии является одним из основных продуктов питания [1]. С ростом населения все чаще возникают проблемы недостатка еды и скрытого голода¹. Для решения проблемы продовольственной безопасности необходимо увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур или расширять их посевные площади.

В России рис массово производится в регионах Южного федерального округа. Расширение площадей выращивания риса в Ростовской области в настоящее время не представляется возможным по причине недостатка воды в уже существующих оросительных системах².

Чтобы поддерживать и увеличивать урожайность зерновых культур, необходимо создавать новые, устойчивые к болезням, сорта. Наиболее вредоносной болезнью у риса является пирикулярриоз [2—4].

Исследователи в разных странах выявляют наличие генов устойчивости к пирикулярриозу в коллекционных образцах и выращиваемых сортах риса. Так в [5] идентифицировали 15 сортов риса, произрастающих в провинции Северная Суматра (Индонезия), которые обладают шестью генами устойчивости — Pi-d2, Pup1, Pi-ta2, Pi-37, Pi-z и Pi-b. В 2018 г. авторы [6] проводили скрининг на молекулярном и полевом уровнях доноров генов устойчивости к пирикулярриозу среди традиционных сортов риса в штате Керала (Индия) и идентифицировали наличие генов Pi 1, Pi 2 и Pi kh.

¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations. Режим доступа: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/ru/> (Дата обращения 22.09.2021) (Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/ru/> [Accessed 22th September 2021])

² Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. Водные ресурсы. Режим доступа: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/activity/356/?nav-news=page-2> (Дата обращения 06.10.2021) (Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov Region. Water resources. Available from: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/activity/356/?nav-news=page-2> [Accessed 6th October 2021])

Ведется маркер-ориентированный отбор гомозиготных по нескольким генам образцов риса, полученных от скрещивания элитных возделываемых сортов с образцами-донорами генов устойчивости к пирикуляриозу в Индии [7] и Китае [8]. Сообщается, что в Колумбии сочетание генов устойчивости Pi1+Pi2+Pi33 доказало свою эффективность в течение более 10 лет [9]. В Тайланде проводилось QTL картирование устойчивости к пирикуляриозу на рекомбинантных инбредных линиях, полученных от скрещивания восприимчивого и устойчивого сортов, и была установлена локализация одного из найденных QTL в непосредственной близости к комплексу трех основных генов устойчивости Pi 7(t), Pi 1 и Pi lm2 [10].

Генотипы риса, у которых имеется несколько генов устойчивости к пирикуляриозу, менее подвержены эпифитотиям, а, следовательно, избегают значительных потерь в урожайности [11].

В процессе пирамидирования нескольких генов в одном генотипе при помощи традиционных методов селекции возникают затруднения, связанные с эффектами доминирования и эпистаза [11]. Поиск генотипа с желаемыми генами устойчивости осложняется влиянием искусственного отбора, так как селекционер в полевых условиях отбирает растения по ряду фенотипических признаков.

Таким образом, актуальным является поиск гомозиготных по нескольким генам устойчивости к пирикуляриозу образцов риса методами маркер-вспомогательной селекции (MAS).

Цель исследования — идентификация генов устойчивости к пирикуляриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса методами MAS.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали 446 селекционных образцов риса F7. Их выращивали на чеках обособленного подразделения «Пролетарское» ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2019 г. на делянках длиной 2 м, с междурядьем 30 см (площадь делянки — 0,6 м²).

Лабораторные анализы проводили в 2019—2020 гг. в лаборатории маркерной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Образцы риса измельчали гомогенизатором Bertin Precellys 24 в пробирках 2,0 мл с керамическими шариками диаметром 28 мм. ДНК образцов выделяли по методу Мюррей [12] с использованием набора «ДНК-Экстран-3» (Синтол, Россия). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в амплификаторе Bio-Rad T-100.

Условия амплификации использовали согласно разработанным ранее протоколам, отдельно для каждого из исследуемых генов [13—15]. Полученные продукты амплификации разделяли на 2 % агарозных и 8 % полиакриламидных гелях в зависимости от определяемого гена устойчивости к пирикуляриозу. Все гели окрашивались в 0,1 % растворе этидиум бромид в 0,5-кратном TBE-буфере. Детекцию электрофореграмм проводили в ультрафиолетовом свете прибором Bio-Rad GelDoc XR+ и анализировали приложением ImageLab 6.0.1.

В качестве контроля наличия генов устойчивости к пирикулярриозу использовали следующие родительские сорта: С104-LAC — для генов Pi-1 и Pi-33, С101-A-51 — для гена Pi-2, IR36 — для гена Pi-ta; Новатор и Боярин — как контроли нефункциональных аллелей всех изучаемых генов.

Для оценки размера выявленных ампликонов использовали маркеры молекулярного веса Evrogen 50+ bp DNA Ladder (50—700 bp) на полиакриламидных гелях и Thermo Scientific GeneRuler 50 bp (50—1000 bp) на агарозных гелях.

Результаты исследования и обсуждения

В результате проведенного скрининга селекционных образцов риса F7 по определению генов устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta было получено множество электрофореграмм на агарозных и полиакриламидных гелях. Электрофореграмма по определению гена Pi-ta на агарозном геле приведена на рис. 1.

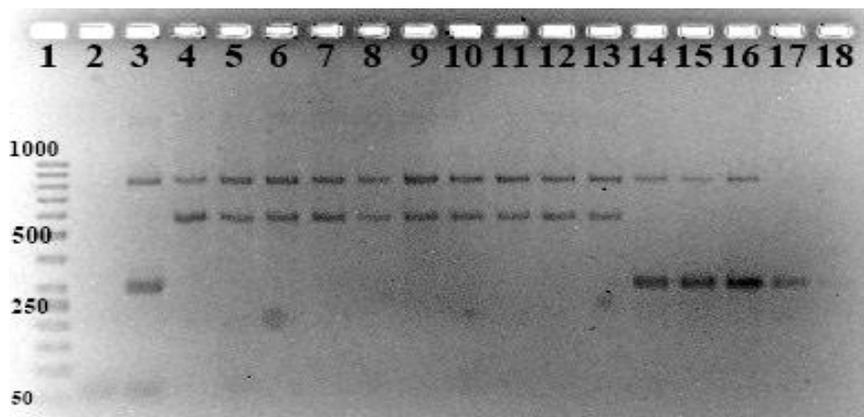


Рис. 1. Электрофореграмма скрининга образцов риса на наличие гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-ta на агарозном геле: 1 — Маркер молекулярного веса Thermo Scientific GeneRuler 50 bp (50–1000 п. н.); 2 — H₂O деионизированная (отрицательный контроль опыта); 3 — **IR36** (положительный контроль); 4 — Д 7787/1; 5 — Д 7787/2; 6 — Д 7787/3; 7 — Д 7787/4; 8 — Д 7787/5; 9 — Д 7787/6; 10 — Д 7787/7; 11 — Д 7787/8; 12 — Д 7787/9; 13 — Д 7787/10; 14—**1064/1**; 15—**1064/2**; 16—**1064/3**; 17—**1064/4**; 18—1065/1

Fig. 1. Electropherogram of screening rice samples for the presence of the Pi-ta blast resistance gene on agarose gel: 1 — Thermo Scientific GeneRuler molecular weight marker 50 bp (50–1000 bp); 2 — deionized H₂O (negative control); 3 — **IR36** (positive control); 4 — D7787/1; 5 — D7787/2; 6 — D7787/3; 7 — D7787/4; 8 — D7787/5; 9 — D7787/6; 10 — D7787/7; 11 — D7787/8; 12 — D7787/9; 13 — D7787/10; 14—**1064/1**; 15—**1064/2**; 16—**1064/3**; 17—**1064/4**; 18—1065/1

Фрагменты ДНК, аналогичные ампликону положительного контроля (сорта-донора гена устойчивости IR36) наблюдались в образцах 1064/1, 1064/2, 1064/3 и 1064/4, следовательно, они несут в себе доминантный аллель гена Pi-ta.

У образца 1065/1 аллели гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-ta не идентифицированы. У остальных образцов (см. рис. 1), наблюдаются ампликоны, ассоциированные с нефункциональным гомозиготным аллелем гена pi-ta.

Электрофореграмма по определению гена Pi-1 на полиакриламидном геле приведена на рис. 2.

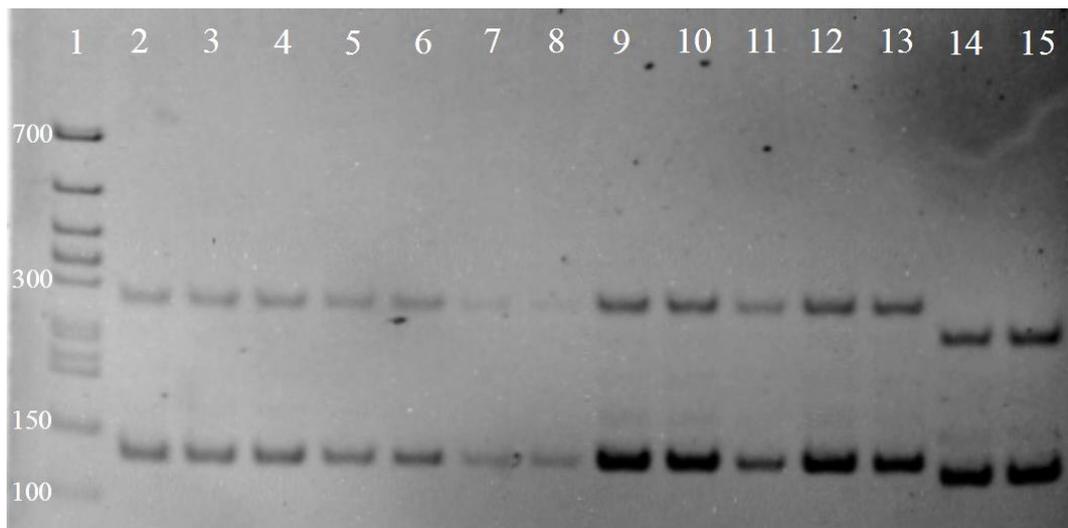


Рис. 2. Электрофореграмма скрининга образцов риса на наличие гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-1 на полиакриламидном геле: 1 – Маркер длин ДНК 50+ bp DNA Ladder Евrogen (50–700 п. н.); 2 – **C104-LAC** (положительный контроль); 3 – Д 7787/1; 4 – Д 7787/2; 5 – Д 7787/3; 6 – Д 7787/4; 7 – Д 7787/5; 8 – Д 7787/6; 9 – Д 7787/7; 10 – Д 7787/8; 11 – Д 7787/9; 12 – Д 7787/10; 13–1141/1; 14–1141/2; 15–1141/3

Fig. 2. Electropherogram of screening rice samples for the presence of blast resistance gene Pi-1 on a polyacrylamide gel: 1 – DNA marker 50+ bp DNA Ladder Evrogen (50–700 bp); 2 – **C104-LAC** (positive control); 3 – D7787/1; 4 – D7787/2; 5 – D7787/3; 6 – D7787/4; 7 – D7787/5; 8 – D7787/6; 9 – D7787/7; 10 – D7787 / 8; 11 – D7787/9; 12 – D7787/10; 13–1141/1; 14–1141/2; 15–1141/3

Аmplифицированные фрагменты ДНК размером 137 пар нуклеотидов, аналогичным размеру ампликона сорта C104-LAC (положительный контроль), были идентифицированы в образцах Д 7787/1, Д 7787/2, Д 7787/3, Д 7787/4, Д 7787/5, Д 7787/6, Д 7787/7, Д 7787/8, Д 7787/9, Д 7787/10 и 1141/1, следовательно, у них имеется функциональный аллель гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-1. У образцов 1141/2 и 1141/3 выявлен ампликон меньшего размера, что свидетельствует о наличии нефункционального (рецессивного) аллеля гена устойчивости к пирикулярриозу pi-1.

В результате проведенной оценки всех полученных электрофореграмм по генам устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta было выявлено распределение их аллелей у селекционных образцов риса (табл. 1).

Таблица 1

Распределение аллелей генов Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса

Аллели гена	Количество образцов, несущих аллели гена, шт.			
	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-ta
Функциональный гомозиготный (доминантный)	54	136	192	131
Гетерозиготный	1	5	16	6
Не функциональный гомозиготный (рецессивный)	204	285	121	285
Аллель не идентифицирован	247	80	177	24

Table 1

Distribution of alleles of Pi-1, Pi-2, Pi-33 and Pi-ta genes in breeding rice samples

Alleles of the gene	Number of samples carrying the alleles of the gene			
	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-ta
Functional homozygous (dominant)	54	136	192	131
Heterozygous	1	5	16	6
Non-functional homozygous (recessive)	204	285	121	285
Allele was not identified	247	80	177	24

Большое число образцов, у которых ни один из аллелей изучаемых генов не был идентифицирован, объясняется высокой вариативностью нуклеотидной последовательности в их геномах, из-за чего праймеры при проведении ПЦР не были комплементарны начальной матрице.

При объединении результатов по каждому из изученных генов было установлено распределение образцов риса по количеству сочетаемых генов устойчивости к пирикулярриозу (рис. 3).

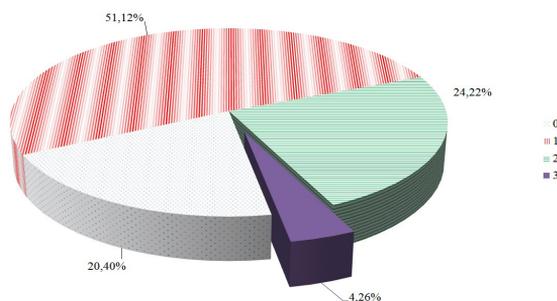


Рис. 3. Распределение образцов риса по количеству сочетаемых генов устойчивости к пирикулярриозу

Fig. 3. Distribution of rice samples by the number of combined blast resistance genes

Образцы, у которых не было идентифицировано ни одного изучаемого гена, составили 20, 4 % (91 шт.) Наличие одного гена устойчивости к пирикулярриозу наблюдалось у 51,12 % образцов (228 шт.), а сочетание двух генов устойчивости в различных комбинациях — у 24,22 % образцов (108 шт.).

Сочетание из 3 генов устойчивости к пирикулярриозу было идентифицировано у 4,26 % образцов риса (19 шт.).

Образцы риса, несущие сочетание двух и трех генов устойчивости к пирикулярриозу, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Выявленные образцы риса с несколькими генами устойчивости к пирикулярриозу

Сочетание генов устойчивости	Количество образцов	Наименование образцов
Pi1+2	5	1270/4, 1271/2, 1293/3, 1318/3, 1371/1
Pi1+33	12	1231/4, 1263/3, 1268/3, 1277/1, 1277/2, 1277/3, 1322/1, 1323/1, 1323/2, 1323/3, 1323/4, 1457/2
Pi1+ta	9	1141/1, 1304/4, 1468/1, 1468/2, 1476/1, 1476/2, 1486/2, 1486/3, 1486/4
Pi2+33	43	1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4 и др.
Pi2+ta	22	1064/2, 1064/4, 1135/4, 1141/3, 1141/4, 1151/1 и др.
Pi33+ta	16	1065/2, 1242/2, 1242/3, 1242/4, 1281/1, 1281/3, 1281/4 и др.
Pi33+b	1	1127/2
Pi1+2+33	4	1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2
Pi1+2+ta	6	1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1
Pi2+Pi33+Pi-ta	9	1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3

Table 2

Identified rice samples having multiple blast resistance genes

Combination of resistance genes	Number of samples	Name of samples
Pi1+2	5	1270/4, 1271/2, 1293/3, 1318/3, 1371/1
Pi1+33	12	1231/4, 1263/3, 1268/3, 1277/1, 1277/2, 1277/3, 1322/1, 1323/1, 1323/2, 1323/3, 1323/4, 1457/2
Pi1+ta	9	1141/1, 1304/4, 1468/1, 1468/2, 1476/1, 1476/2, 1486/2, 1486/3, 1486/4
Pi2+33	43	1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4 et al.
Pi2+ta	22	1064/2, 1064/4, 1135/4, 1141/3, 1141/4, 1151/1 et al.
Pi33+ta	16	1065/2, 1242/2, 1242/3, 1242/4, 1281/1, 1281/3, 1281/4 et al.
Pi33+b	1	1127/2
Pi1+2+33	4	1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2
Pi1+2+ta	6	1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1
Pi2+Pi33+Pi-ta	9	1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3

Всего идентифицировано 127 образцов риса, несущих сочетание 2 и 3 различных генов устойчивости к пирикулярриозу. У 43 образцов (наибольшее количество) было выявлено сочетание генов устойчивости Pi-2 и Pi-33.

Наиболее интересными для отбора являются образцы с тремя различными генами устойчивости к болезни.

Заключение

В результате проведенных методами MAS исследований были идентифицированы гены устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса.

Для дальнейшей селекционной работы по созданию устойчивых к пирикулярриозу сортов риса рекомендуем использовать выявленные образцы с тремя генами устойчивости: Pi-1+Pi-2+Pi-33 (1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2), Pi-1+Pi-2+Pi-ta (1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1) и Pi-2+Pi-33+Pi-ta (1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3).

Библиографический список

1. Wang F., Wang F., Hu J., Xie L., Yao X. Rice yield estimation based on an NPP model with a changing harvest index // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020. Vol. 13. Pp. 2953—2959. doi: 10.1109/JSTARS.2020.2993905
2. Asibi A.E., Chai Q., Coulter J.A. Rice Blast: a disease with implications for global food security // Agronomy. 2019. Vol. 9. № 8. P. 451. doi: 10.3390/agronomy9080451
3. Yulensri Y., Noveri, Arneti. Efektifitas formulasi cair konsorsium bakteri sebagai pengendali hama dan penyakit pada padi sawah organik // Jurnal Ilmiah Inovasi. 2020. Vol. 20. № 3. Pp. 35—40. doi: 10.25047/jii.v20i3.2366
4. El-Abbasi I.H., Khalil A.A., Awad H.M., Shoala T. Nano-diagnostic technique for detection of rice pathogenic fungus *Pyricularia oryzae* // Indian Phytopathology. 2020. Vol. 73. Pp. 673—682. doi: 10.1007/s42360-020-00254-7
5. Hannum S., Hasibuan U., Sinaga R., Wahyuningsih H. Identification of blast resistance genes in fifteen rice accessions (*Oryza sativa* L.) from North-Sumatera // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 305. P. 012076. doi: 10.1088/1755—1315/305/1/012076
6. Nickolas H., Jayalekshmy V.G., Yamini Varma C.K., Vighneswaran V. Molecular and field level screening for blast resistance gene donors among traditional rice varieties of Kerala // Journal of Tropical Agriculture. 2018. Vol. 56. № 2. Pp. 93—98. URL: <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/652/463>
7. Pandian B.A., Joel J., Nachimuthu V.V., Swaminathan M., Govinatharaj P., Tannidi S., Sabariappan R. Marker-aided selection and validation of various Pi gene combinations for rice blast resistance in elite rice variety ADT43 // Journal of Genetics. 2018. Vol. 97. Pp. 945—952. doi: 10/1007/s12041-018-0988-7
8. Guan H., Hou X., Jiang Y., Srivastava V., Mao D., Pan R., Chen M., Zhou Y., Wang Z., Chen Z. Feature of blast resistant near-isogenic lines using an elite maintainer line II-32B by marker-assisted selection // Journal of Plant Pathology. 2019. Vol. 101. Pp. 491—501. doi: 10.1007/s42161-018-00222-1
9. Correa-Victoria F.J., Tharreau D., Martinez C., Vales M., Escobar F., Prado G., Aricapa G. Gene combination for durable blast resistance in Colombia // Fitopatol. Colomb. 2002. Vol. 26. Pp. 47—54. URL: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/poster_riceblast.pdf
10. Noenplab A., Vanavichit A., Toojinda T., Sirithunya P., Tragoonrun S., Sriprakhon S., Vongsaprom C. QTL mapping for leaf and neck blast resistance in Khao Dawk Mali105 and Jao Horn Nin recombinant inbred lines // ScienceAsia. 2006. Vol. 32(2). Pp. 133—142. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2006.32.133
11. Jamaluddin M., Durga Rani C.V., Swathi G., Anuradha C., Vanisri S., Rajan C.P.D., Krishnam Raju S., Bhuvaneshwari V., Jagadeeswar R., Laha G.S., Prasad M.S., Satyanarayana P.V., Cheralu C., Rajani G.,

Ramprasad E., Sravanthi P., Arun Prem Kumar N., Aruna Kumari K., Yamini K.N., Mahesh D., Sanjeev Rao D., Sundaram R.M., Sheshu Madhav M. Marker Assisted Gene Pyramiding (MAGP) for bacterial blight and blast resistance into mega rice variety «Tellahamsa» // *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15(6): e0234088. doi: 10.1371/journal.pone.0234088

12. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // *Nucleic Acids Res.* 1980. Vol. 8. Pp. 4321–4325. doi: 10.1093/nar/8.19.4321

13. Ware D., Jaiswal P., Ni J., Pan X., Chang K., Clark K., Teytelman L., Schmidt S., Zhao W., Cartinhour S., McCouch S., Stein L. Gramene: A resource for comparative grass genomics // *Nucleic Acids Res.* 2002. Vol. 30. P. 103–105. doi: 10.1093/nar/30.1.103

14. Sharma R.C., Shrestha S.M., Pandey M.P. Inheritance of blast resistance and associated microsatellite markers in rice cultivar «Laxmi» // *Journal of Phytopatology*. 2007. Vol. 155. № 11–12. P. 749–753. doi: 10.1111/j.1439-0434.2007.01298.x

15. Мухина Ж.М., Мягких Ю.А., Богомаз Д., Матвеева Т.В., Токмаков С.В. Создание кодоминантного молекулярного ПЦР-маркера для идентификации гена расоспецифической устойчивости к пирикулярриозу риса Pi-ta // *Рисоводство*. 2008. № 7. С. 3–4.

References

1. Wang F, Wang F, Hu J, Xie L, Yao X. Rice yield estimation based on an NPP model with a changing harvest index. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2020; 13:2953–2959. doi: 10.1109/JSTARS.2020.2993905

2. Asibi AE, Chai Q, Coulter JA. Rice Blast: a disease with implications for global food security. *Agronomy*. 2019; 9(8):451. doi: 10.3390/agronomy9080451

3. Yulensri Y. Efektifitas Formulasi Cair Konsorsium Bakteri sebagai Pengendali Hama dan Penyakit pada Padi Sawah Organik. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. 2020; 20(3):35–40. doi: 10.25047/jii.v20i3.2366

4. El-Abbasi IH, Khalil AA, Awad HM, Shoala T. Nano-diagnostic technique for detection of rice pathogenic fungus *Pyricularia oryzae*. *Indian Phytopathology*. 2020; 73:673–682. doi: 10.1007/s42360-020-00254-7

5. Hannum S, Hasibuan U, Sinaga R, Wahyuningsih H. Identification of blast resistance genes in fifteen rice accessions (*Oryza sativa* L.) from North-Sumatera. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume 305. IOP Publishing; 2019. p.012076. doi: 10.1088/1755-1315/305/1/012076

6. Nickolas H, Jayalekshmy VG, Yamini Varma CK, Vighneswaran V. Molecular and field level screening for blast resistance gene donors among traditional rice varieties of Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*. 2018; 56(2):93–98.

7. Pandian BA, Joel J, Nachimuthu VV, Swaminathan M, Govinatharaj P, Tannidi S, Sabariappan R. Marker-aided selection and validation of various Pi gene combinations for rice blast resistance in elite rice variety ADT43. *Journal of Genetics*. 2018; 97(4):945–952. doi: 10.1007/s12041-018-0988-7

8. Guan H, Hou X, Jiang Y, Srivastava V, Mao D, Pan R, et al. Feature of blast resistant near-isogenic lines using an elite maintainer line II-32B by marker-assisted selection. *Journal of Plant Pathology*. 2019; 101(3):491–501. doi: 10.1007/s42161-018-00222-1

9. Correa-Victoria FJ, Tharreau D, Martinez C, Vales M, Escobar F, Prado G, et al. Gene combination for durable blast resistance in Colombia. *Fitopatol. Colomb.* 2002; 26: 47–54. Available from: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/poster_riceblast.pdf

10. Noenplab A, Vanavichit A, Toojinda T, Sirithunya P, Tragoonrung S, Sriprakhon S, et al. QTL mapping for leaf and neck blast resistance in Khao Dawk Mali105 and Jao Horn Nin recombinant inbred lines. *ScienceAsia*. 2006; 32(2):133–142. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2006.32.133

11. Jamaloddin M, Durga Rani CV, Swathi G, Anuradha C, Vanisri S, Rajan CPD, et al. Marker Assisted Gene Pyramiding (MAGP) for bacterial blight and blast resistance into mega rice variety «Tellahamsa». *PLoS ONE*. 2020; 15(6): e0234088. doi: 10.1371/journal.pone.0234088

12. Murray MG, Thompson WF. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Res.* 1980; 8(19):4321–4325. doi: 10.1093/nar/8.19.4321

13. Ware D, Jaiswal P, Ni J, Pan X, Chang K, Clark K, et al. Gramene: A resource for comparative grass genomics. *Nucleic Acids Res.* 2002; 30(1):103–105. doi: 10.1093/nar/30.1.103

14. Sharma RC, Shrestha SM, Pandey MP. Inheritance of blast resistance and associated microsatellite markers in rice cultivar «Laxmi». *Journal of Phytopatology*. 2007; 155(11–12):749–753. doi: 10.1111/j.1439-0434.2007.01298.x.

15. Mukhina ZM, Myagkikh YA, Bogomaz D, Matveeva TV, Tokmakov SV. Creation of a codominant molecular PCR marker for identification of the gene of race-specific resistance to rice blast infection Pi-ta. *Rice growing*. 2008; (7):3–4.

Об авторах:

Вожжова Наталия Николаевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: nvozhzh@gmail.com
ORCID 0000-0002-2046-4000, SPIN-код: 9601-8505

Жогалева Ольга Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: os.zogaleva@mail.ru
ORCID 0000-0003-1477-3285, SPIN-код: 1780-8070

Купрейшвили Натия Темуриевна — техник-исследователь лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: kupreyshvilin@mail.ru
ORCID 0000-0002-1726-4390, SPIN-код: 1322-6327

Дубина Ангелина Юрьевна — техник-исследователь лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: angel.myshastaja@yandex.ru
ORCID 0000-0002-1432-7616, SPIN-код: 5281-7163

Костылев Павел Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, руководитель центра фундаментальных научных исследований федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: p-kostylev@mail.ru
ORCID 0000-0002-4371-6848, SPIN-код: 7901-1531

About authors:

Vozhzhova Nataliya Nikolaevna — Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, Laboratory of marker selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russian Federation; e-mail: nvozhzh@gmail.com
ORCID 0000-0002-2046-4000, eLibrary SPIN: 9601-8505

Zhogaleva Olga Sergeevna — junior researcher, Laboratory of Marker Selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Re-gion, 347740, Russian Federation; e-mail: os.zogaleva@mail.ru
ORCID 0000-0003-1477-3285, eLibrary SPIN: 1780-8070

Kupreyshvili Natia Temurievna — research technician, Laboratory of Marker Selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russian Federation; e-mail: kupreyshvilin@mail.ru
ORCID 0000-0002-1726-4390, eLibrary SPIN: 1322-6327

Dubina Angelina Yurievna — research technician, Laboratory of Marker Selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Re-gion, 347740, Russian Federation; e-mail: angel.myshastaja@yandex.ru
ORCID 0000-1432-7616, eLibrary SPIN: 5281-7163

Kostylev Pavel Ivanovich — Doctor of Agricultural Sciences, Head of Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Re-gion, 347740, Russian Federation; e-mail: p-kostylev@mail.ru
ORCID 0000-0002-4371-6848, eLibrary SPIN: 7901-1531

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352
УДК 635.92:549.2: 582.6:504.05

Научная статья / Research article

Содержание тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды

А.А. Реут  , С.Г. Денисова 

Южно-Уральский ботанический сад-институт — обособленное структурное подразделение федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Российская Федерация

 cvetok.79@mail.ru

Аннотация. Тяжелые металлы являются основными загрязнителями почв, при этом самыми агрессивными считаются их подвижные формы, способные переходить из твердых фаз в почвенные растворы и поглощаться растениями. Выявлено, что вегетативная масса сельскохозяйственных культур способна накапливать большое количество тяжелых металлов. Декоративные цветочные культуры, которые прочно занимают свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения. Цель исследования — изучение особенностей накопления тяжелых металлов в надземных и подземных органах некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды города Уфы. Объектами исследований являлись четыре вида *P. peregrina* Mill., *P. lactiflora* Pall., *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. delavayi* Franch. (сем. *Paeoniaceae* Rudolphi) и три сорта пиона гибридного Аппассионата, Мустай Карим, Jeanne d'Arc. Изучение элементного состава надземной и подземной частей проводили по методике «Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией». Математическую обработку данных осуществляли с помощью методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel. Для каждой группы сырья проведены исследования по восьми элементам, содержание которых приведено к ммоль/кг воздушно-сухого сырья. Выявлено, что в изученных образцах содержание меди в 4,15...2520,00 раз выше, а содержание кадмия в 0,43...2520,0 раз ниже, чем других элементов. Отмечено, что минимальные концентрации мышьяка (0,0035...0,0064 ммоль/кг), хрома (0,0019...0,0046 ммоль/кг), марганца (0,0174...0,0219 ммоль/кг) и железа (0,0059...0,0125 ммоль/кг) отмечены в корнях; свинца (0,003...0,037 ммоль/кг), кадмия (0,0002...0,001 ммоль/кг) и меди (0,1477...0,2134 ммоль/кг) — в листьях; никеля (0,0082...0,0179 ммоль/кг) — в цветках изучаемых пионов. Максимальное содержание мышьяка (0,0062...0,0123 ммоль/кг) и хрома (0,0028...0,0063 ммоль/кг) обнаружено в листьях; свинца (0,0027...0,0223 ммоль/кг), никеля (0,0167...0,0209 ммоль/кг), марганца (0,0173...0,0212 ммоль/кг) и железа (0,0087...0,0138 ммоль/кг) — в стеблях; кадмия (0,0002...0,0009 ммоль/кг) и меди (0,144...0,244 ммоль/кг) — в цветках. Срезка пионов в осенний период перед уходом на покой позволяет избежать накопления данных микроэлементов в почве. Результаты корреляционного анализа показали, что абсолютные значения

© Реут А.А., Денисова С.Г., 2021

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

концентраций изучаемых элементов у рассматриваемых таксонов пионов коррелируют между собой в средней и сильной степени.

Ключевые слова: *Paeonia*, тяжелые металлы, надземные органы, подземная масса, Республика Башкортостан

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме АААА-А18-118011990151-7.

Вклад авторов: Реут А.А. — сбор и обработка результатов, Денисова С.Г. — анализ полученных данных, написание текста.

История статьи: поступила в редакцию 29 октября 2021 г.; принята к публикации 2 декабря 2021 г.

Для цитирования: Реут А.А., Денисова С.Г. Содержание тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 337—352. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352

The content of heavy metals in the raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L. in an urbanized environment

Antonina A. Reut  , Svetlana G. Denisova 

South-Ural Botanical Garden-Institute
of Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation
 cvetok.79@mail.ru

Abstract. At present, heavy metals are generally recognized as priority soil pollutants, while the most active pollutants are their mobile forms, which can pass from solid phases into soil solutions and be absorbed by plants. It is known that the vegetative mass of agricultural crops is capable of accumulating large amounts of heavy metals. Ornamental flower crops, which firmly occupy their ecological niche, are practically not considered from this point of view. The aim of this work was to study the features of the accumulation of heavy metals in the aboveground and underground organs of some representatives of the genus *Paeonia* L. in the urbanized environment of the city of Ufa. The objects of research were four species (*P. peregrina* Mill., *P. lactiflora* Pall., *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. delavayi* Franch.) (Family *Paeoniaceae* Rudolphi) and three varieties of hybrid peony ('Appassionata', 'Mustai Karim', 'Jeanne d'Arc'). The study of the elemental composition of the aboveground and underground parts was carried out according to the method «Determination of As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn and Ni in samples of food products and food raw materials by the atomic absorption method with electrothermal atomization». Mathematical data processing was carried out using generally accepted methods of variation statistics using the AgCStat software package in the form of an Excel add-in. Eight element studies are presented for each raw material group. Quantitative indicators of elements are given in mmol/kg of air-dry raw materials. It was revealed that in the studied samples the copper content was 4.15...2520.00 times higher than that of other elements. The minimum concentrations of arsenic (0.0035...0.0064 mmol/kg), chromium (0.0019...0.0046 mmol/kg), manganese (0.0174...0.0219 mmol/kg) and iron (0.0059...0.0125 mmol/kg) were noted in the roots; lead (0.003...0.037 mmol/kg), cadmium (0.0002...0.001 mmol/kg) and copper (0.1477...0.2134 mmol/kg) — in the leaves; nickel (0.0082...0.0179 mmol/kg) — in the flowers of the studied paeonies. The maximum content of arsenic (0.0062...0.0123 mmol/kg) and chromium (0.0028...0.0063 mmol/kg)

was found in the leaves; lead (0.0027...0.0223 mmol/kg), nickel (0.0167...0.0209 mmol/kg), manganese (0.0173...0.0212 mmol/kg) and iron (0.0087...0.0138 mmol/kg) — in stems; cadmium (0.0002...0.0009 mmol/kg) and copper (0.144...0.244 mmol/kg) — in flowers. Therefore, cutting paeonies in the autumn before retirement avoids the accumulation of these microelements in the soil. The results of the correlation analysis showed that the absolute values of the concentrations of the studied elements in the considered taxon of paeonies correlate with each other to a moderate and strong degree.

Key words: Paeonia, heavy metals, aboveground organs, underground mass, Republic of Bashkortostan

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The study was carried out according to the Program of Fundamental Research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences «Biodiversity of Natural Systems and Biological Resources of Russia» and within the framework of the state assignment of South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences (AAAA-A18-118011990151-7).

Article history:

Received: 29 October 2021. Accepted: 2 December 2021.

For citation:

Reut AA, Denisova SG. The content of heavy metals in the raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L. in an urbanized environment. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):337—352. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352

Введение

С ростом градостроительства происходит трансформация городской среды, которая значительно отличается от природной. Существенной характеристикой урбанизированной территории является загрязнение почв тяжелыми металлами, так как они обладают токсическим и мутагенным эффектом на растения. Приоритетное место среди других техногенных токсичных элементов принадлежит именно тяжелым металлам, которые могут концентрироваться в плодородном слое почвы и менять ее свойства, так как не подвергаются процессам биогенного и физико-химического распада. Таким образом, поллютанты длительное время остаются свободными для всасывания корнями растений, а в последствии активно перемещаются по цепям питания в биогеоценозах [1, 2]. Так, известно, что вегетативная масса сельскохозяйственных культур способна накапливать значительно больше тяжелых металлов, чем клубни и корнеплоды, что представляет особую важность в выращивании таких овощных культур [3]. Декоративные цветочные культуры, прочно занимающие свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения [4, 5].

В связи с вышеизложенным **цель исследования** — изучение особенностей накопления тяжелых металлов в надземных и подземных органах некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды города Уфы.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе Южно-Уральского ботанического сада-института — обособленного структурного подразделения федерального государственного

бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (далее — ЮУБСИ УФИЦ РАН) в весенне-летний период 2018—2021 гг.

Объектами исследований являлись четыре вида *P. peregrina* Mill., *P. lactiflora* Pall., *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. delavayi* Franch. (сем. *Paeoniaceae*) и созданные на основе *P. lactiflora* Pall. три сорта пиона Аппассионата, Мустай Карим, Jeanne d'Arc, интродуцированные и выращенные на базе ЮУБСИ УФИЦ РАН [6].

Климатические показатели района исследований: зима — продолжительная и холодная, лето — умеренно теплое; наблюдается большая изменчивость температуры воздуха, особенно весной и осенью. Среднегодовая температура воздуха составляет +2,6 °С, среднемесячная температура воздуха в январе — –14,3 °С, в июле — +19,3 °С; абсолютный минимум — –53,0 °С, абсолютный максимум — +37,0 °С; среднегодовое количество осадков — 580 мм [7]. Почва отличается большой уплотненностью и образована из элювиальных и делювиальных желто-бурых суглинков [8].

Изучение микроэлементного состава растительного сырья (цветки, стебли, листья и корни) проводили на базе аналитической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства. Для проведения анализа использовали 10 средневозрастных культиваров каждого таксона генеративной стадии развития в фазе цветения (май — июнь). Сбор надземных частей (цветки, листья, стебли) объектов исследования проводили в утренние часы. Корни выкапывали в конце сентября — начале октября (до первых заморозков); их 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 [9].

Изучение элементного состава образцов проводили по методике «Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией» [10, 11].

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel и пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа AGROS2.09 [12—16].

Результаты исследования и обсуждение

Проанализированы результаты исследования микроэлементного состава цветков, листьев, стеблей и корней семи разных таксонов пионов Аппассионата, Мустай Карим, Jeanne d'Arc, *P. delavayi*, *P. lactiflora*, *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. peregrina*. Для каждой группы сырья проведены исследования по восьми элементам. Количественные показатели элементов приведены к ммольям/кг воздушно-сухого сырья (табл. 1—4).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в цветках некоторых таксонов рода Paeonia, ммоль/кг

Элементы	Таксоны							
	Аппассионата	Мустай Карим	Jeanne d'Arc	P. delavayi	P. lactiflora	P. lactiflora f. rosea	P. peregrina	
As	0,007902±0,000204	0,005232±0,000104	0,005121±0,000108	0,005677±0,000058	0,006211±0,000173	0,008956±0,000003	0,006242±0,000173	
Pb	0,002896±0,000028	0,003898±0,000049	0,003661±0,000001	0,005466±0,000007	0,002860±0,000007	0,003151±0,000028	0,003657±0,0000049	
Cd	0,000255±0,000006	0,000427±0,000001	0,000195±0,000009	0,000355±0,000001	0,000338±0,000001	0,000934±0,000001	0,000409±0,0000008	
Cr	0,006282±0,00013	0,003808±0,000005	0,005667±0,000009	0,003500±0,000000	0,003757±0,000008	0,002942±0,000001	0,002359±0,000001	
Cu	0,244117±0,00351	0,213142±0,00208	0,187497±0,0011	0,144006±0,00051	0,173937±0,00087	0,161584±0,00327	0,149870±0,00216	
Ni	0,008212±0,000001	0,008366±0,00009	0,012313±0,00007	0,010558±0,00018	0,017078±0,00021	0,017884±0,00038	0,016947±0,00058	
Mn	0,017547±0,00004	0,020659±0,00001	0,022734±0,00012	0,018136±0,00006	0,01782±0,00005	0,01782±0,00001	0,018433±0,00024	
Fe	0,010260±0,00003	0,010224±0,00004	0,012570±0,00009	0,08822±0,00006	0,012916±0,00009	0,013107±0,00003	0,013859±0,00005	

Table 1

The content of heavy metals in flowers of some taxon of the genus Paeonia, mmol/kg

The elements	Taxon							
	Appassionata	Mustay Karim	Jeanne d'Arc	P. delavayi	P. lactiflora	P. lactiflora f. rosea	P. peregrina	
As	0.007902±0.000204	0.005232±0.000104	0.005121±0.000108	0.005677±0.000058	0.006211±0.000173	0.008956±0.000003	0.006242±0.000173	
Pb	0.002896±0.000028	0.003898±0.000049	0.003661±0.000001	0.005466±0.000007	0.002860±0.000007	0.003151±0.000028	0.003657±0.0000049	
Cd	0.000255±0.000006	0.000427±0.000001	0.000195±0.000009	0.000355±0.000001	0.000338±0.000001	0.000934±0.000001	0.000409±0.0000008	
Cr	0.006282±0.00013	0.003808±0.000005	0.005667±0.000009	0.003500±0.000000	0.003757±0.000008	0.002942±0.000001	0.002359±0.000001	
Cu	0.244117±0.00351	0.213142±0.00208	0.187497±0.0011	0.144006±0.00051	0.173937±0.00087	0.161584±0.00327	0.149870±0.00216	
Ni	0.008212±0.000001	0.008366±0.00009	0.012313±0.00007	0.010558±0.00018	0.017078±0.00021	0.017884±0.00038	0.016947±0.00058	
Mn	0.017547±0.00004	0.020659±0.00001	0.022734±0.00012	0.018136±0.00006	0.01782±0.00005	0.01782±0.00001	0.018433±0.00024	
Fe	0.010260±0.00003	0.010224±0.00004	0.012570±0.00009	0.08822±0.00006	0.012916±0.00009	0.013107±0.00003	0.013859±0.00005	

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в листьях некоторых таксонов рода *Paeonia*, ммоль/кг

Элементы	Таксоны						
	Аппассионата	Мустай Карим	Jeanne d'Arc	<i>P. delavayi</i>	<i>P. lactiflora</i>	<i>P. lactiflora f. rosea</i>	<i>P. peregrina</i>
As	0,006166±0,000050	0,007581±0,000116	0,008858±0,000007	0,007443±0,000096	0,012279±0,000008	0,011083±0,000135	0,008142±0,000004
Pb	0,006729±0,000095	0,003018±0,000021	0,008624±0,000066	0,037440±0,00026	0,003834±0,000001	0,004225±0,000035	0,007847±0,000046
Cd	0,000166±0,000006	0,000439±0,000006	0,000311±0,000001	0,000205±0,000001	0,000205±0,000001	0,001023±0,000001	0,000255±0,000005
Cr	0,005385±0,00033	0,004955±0,00012	0,003609±0,000002	0,006359±0,000003	0,002859±0,000004	0,004007±0,000003	0,002936±0,000005
Cu	0,152850±0,00036	0,165827±0,00086	0,213362±0,00189	0,155368±0,00258	0,147675±0,00051	0,154864±0,00026	0,171062±0,00102
Ni	0,010689±0,00022	0,016925±0,00009	0,023599±0,00013	0,017720±0,00023	0,015289±0,00019	0,019407±0,00014	0,014011±0,00009
Mn	0,017820±0,00012	0,021321±0,00006	0,020550±0,0002	0,020204±0,00004	0,017225±0,00002	0,018633±0,00007	0,018457±0,00005
Fe	0,011549±0,00012	0,011728±0,00014	0,009490±0,00026	0,011227±0,00012	0,013071±0,00005	0,010815±0,00004	0,010061±0,00016

Table 2

The content of heavy metals in the leaves of some taxon of the genus *Paeonia*, mmol/kg

The elements	Taxon						
	Appassionata	Mustay Karim	Jeanne d'Arc	<i>P. delavayi</i>	<i>P. lactiflora</i>	<i>P. lactiflora f. rosea</i>	<i>P. peregrina</i>
As	0.006166±0.000050	0.007581±0.000116	0.008858±0.000007	0.007443±0.000096	0.012279±0.000008	0.011083±0.000135	0.008142±0.000004
Pb	0.006729±0.000095	0.003018±0.000021	0.008624±0.000066	0.037440±0.00026	0.003834±0.000001	0.004225±0.000035	0.007847±0.000046
Cd	0.000166±0.000006	0.000439±0.000006	0.000311±0.000001	0.000205±0.000001	0.000205±0.000001	0.001023±0.000001	0.000255±0.000005
Cr	0.005385±0.00033	0.004955±0.00012	0.003609±0.000002	0.006359±0.000003	0.002859±0.000004	0.004007±0.000003	0.002936±0.000005
Cu	0.152850±0.00036	0.165827±0.00086	0.213362±0.00189	0.155368±0.00258	0.147675±0.00051	0.154864±0.00026	0.171062±0.00102
Ni	0.010689±0.00022	0.016925±0.00009	0.023599±0.00013	0.017720±0.00023	0.015289±0.00019	0.019407±0.00014	0.014011±0.00009
Mn	0.017820±0.00012	0.021321±0.00006	0.020550±0.0002	0.020204±0.00004	0.017225±0.00002	0.018633±0.00007	0.018457±0.00005
Fe	0.011549±0.00012	0.011728±0.00014	0.009490±0.00026	0.011227±0.00012	0.013071±0.00005	0.010815±0.00004	0.010061±0.00016

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в стеблях некоторых таксонов рода Paeonia, ммоль/кг

Элементы	Таксоны							
	Аппассионата	Мустай Карим	Jeanne d'Arc	P. delavayi	P. lactiflora	P. lactiflora f. rosea	P. peregrina	
As	0,005664±0,000123	0,005646±0,000154	0,005819±0,000005	0,006478±0,000135	0,005775±0,000006	0,00921±0,000000	0,008142±0,000004	
Pb	0,005346±0,000021	0,002727±0,000000	0,003895±0,000024	0,005455±0,000007	0,002659±0,000005	0,022307±0,000029	0,002889±0,000003	
Cd	0,000267±0,000001	0,000667±0,000001	0,000382±0,000001	0,000267±0,000001	0,000261±0,000005	0,001041±0,000008	0,000374±0,000008	
Cr	0,005026±0,000023	0,005148±0,000004	0,003911±0,000006	0,002622±0,000003	0,004141±0,000005	0,001974±0,00001	0,002750±0,000004	
Cu	0,172882±0,000074	0,242465±0,000034	0,227316±0,000245	0,183903±0,000036	0,138414±0,000061	0,217501±0,000066	0,151884±0,000155	
Ni	0,016726±0,000022	0,016981±0,000046	0,016800±0,000024	0,018572±0,000008	0,017005±0,000009	0,020917±0,000031	0,017283±0,000032	
Mn	0,019616±0,00001	0,021024±0,00001	0,020355±0,00001	0,021224±0,00001	0,017274±0,00001	0,018615±0,000014	0,018299±0,000003	
Fe	0,011442±0,000006	0,012248±0,000025	0,013859±0,000194	0,01377±0,000014	0,011937±0,000013	0,009078±0,000006	0,008756±0,000005	

Table 3

The content of heavy metals in the stems of some taxon of the genus Paeonia, mmol/kg

The elements	Taxon							
	Appassionata	Mustay Karim	Jeanne d'Arc	P. delavayi	P. lactiflora	P. lactiflora f. rosea	P. peregrina	
As	0.005664±0.000123	0.005646±0.000154	0.005819±0.000005	0.006478±0.000135	0.005775±0.000006	0.00921±0.000000	0.008142±0.000004	
Pb	0.005346±0.000021	0.002727±0.000000	0.003895±0.000024	0.005455±0.000007	0.002659±0.000005	0.022307±0.000029	0.002889±0.000003	
Cd	0.000267±0.000001	0.000667±0.000001	0.000382±0.000001	0.000267±0.000001	0.000261±0.000005	0.001041±0.000008	0.000374±0.000008	
Cr	0.005026±0.000023	0.005148±0.000004	0.003911±0.000006	0.002622±0.000003	0.004141±0.000005	0.001974±0.00001	0.002750±0.000004	
Cu	0.172882±0.000074	0.242465±0.000034	0.227316±0.000245	0.183903±0.000036	0.138414±0.000061	0.217501±0.000066	0.151884±0.000155	
Ni	0.016726±0.000022	0.016981±0.000046	0.016800±0.000024	0.018572±0.000008	0.017005±0.000009	0.020917±0.000031	0.017283±0.000032	
Mn	0.019616±0.00001	0.021024±0.00001	0.020355±0.00001	0.021224±0.00001	0.017274±0.00001	0.018615±0.000014	0.018299±0.000003	
Fe	0.011442±0.000006	0.012248±0.000025	0.013859±0.000194	0.01377±0.000014	0.011937±0.000013	0.009078±0.000006	0.008756±0.000005	

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в корнях некоторых таксонов рода Раеониа, ммоль/кг

Элементы	Таксоны						
	Аппассионата	Мустай Карим	Jeanne d'Arc	<i>P. delavayi</i>	<i>P. lactiflora</i>	<i>P. lactiflora f. rosea</i>	<i>P. peregrina</i>
As	0,003484±0,000065	0,00298±0,000004	0,006447±0,000007	0,006255±0,000009	0,003706±0,000006	0,004204±0,000008	0,004778±0,000008
Pb	0,00243726±0,000000	0,003258±0,000000	0,004063±0,000038	0,00445624±0,00016	0,003633±0,000007	0,005933±0,000067	0,004075±0,000003
Cd	0,00016±0,000001	0,000107±0,000001	0,000172±0,000001	0,00009±0,000000	0,000255±0,000005	0,004538±0,000088	0,000267±0,000001
Cr	0,004564±0,000006	0,004109±0,000005	0,002962±0,000003	0,004019±0,000001	0,002289±0,000004	0,001936±0,000002	0,001942±0,000003
Cu	0,169567±0,00013	0,253821±0,00131	0,211558±0,00144	0,226864±0,00144	0,165402±0,00041	0,160750±0,00142	0,156296±0,00027
Ni	0,014329±0,00014	0,016800±0,00004	0,021713±0,00032	0,012699±0,00002	0,019492±0,00051	0,015278±0,00022	0,017152±0,00015
Mn	0,018499±0,00007	0,021891±0,00002	0,018706±0,00003	0,018524±0,00006	0,018614±0,00014	0,017413±0,00013	0,018542±0,00002
Fe	0,012534±0,00011	0,011692±0,00002	0,010367±0,00107	0,011711±0,00022	0,009019±0,00002	0,01014±0,00003	0,005867±0,00002

Table 4

The content of heavy metals in the roots of some taxon of the genus Paeonia, mmol/kg

The elements	Taxon						
	Appassionata	Mustay Karim	Jeanne d'Arc	<i>P. delavayi</i>	<i>P. lactiflora</i>	<i>P. lactiflora f. rosea</i>	<i>P. peregrina</i>
As	0.003484±0.000065	0.00298±0.000004	0.006447±0.000007	0.006255±0.000009	0.003706±0.000006	0.004204±0.000008	0.004778±0.000008
Pb	0.00243726±0.000000	0.003258±0.000000	0.004063±0.000038	0.00445624±0.00016	0.003633±0.000007	0.005933±0.000067	0.004075±0.000003
Cd	0.00016±0.000001	0.000107±0.000001	0.000172±0.000001	0.00009±0.000000	0.000255±0.000005	0.004538±0.000088	0.000267±0.000001
Cr	0.004564±0.000006	0.004109±0.000005	0.002962±0.000003	0.004019±0.000001	0.002289±0.000004	0.001936±0.000002	0.001942±0.000003
Cu	0.169567±0.00013	0.253821±0.00131	0.211558±0.00144	0.226864±0.00144	0.165402±0.00041	0.160750±0.00142	0.156296±0.00027
Ni	0.014329±0.00014	0.016800±0.00004	0.021713±0.00032	0.012699±0.00002	0.019492±0.00051	0.015278±0.00022	0.017152±0.00015
Mn	0.018499±0.00007	0.021891±0.00002	0.018706±0.00003	0.018524±0.00006	0.018614±0.00014	0.017413±0.00013	0.018542±0.00002
Fe	0.012534±0.00011	0.011692±0.00002	0.010367±0.00107	0.011711±0.00022	0.009019±0.00002	0.01014±0.00003	0.005867±0.00002

Выявлено достаточно высокое содержание меди во всех видах сырья всех изучаемых растений: в 4,15...2520,00 раз выше по сравнению с другими элементами. Максимальное содержание отмечено в корнях, минимальное — в листьях растений.

Таким образом, анализ полученных данных выявил, что минимальные концентрации мышьяка, хрома, марганца и железа отмечены в корнях; свинца, кадмия и меди — в листьях; никеля — в цветках изучаемых пионов. Максимальное содержание мышьяка и хрома обнаружено в листьях; свинца, никеля, марганца и железа — в стеблях; кадмия и меди — в цветках. Поэтому срезка пионов в осенний период перед уходом на покой позволяет избежать накопление данных микроэлементов в почве.

Для удобства расчетов при двухфакторном дисперсионном анализе данные были прологарифмированы. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали значимые различия по содержанию тяжелых металлов по таксонам и частям растения. Выявлено, что основное влияние на содержание кадмия, хрома, марганца оказывают таксоны, с долей влияния 56,45...70,83 %; на долю второго фактора (часть растения) приходится 2,37...14,87 %; вклад взаимодействия таксон — часть растения составил 17,11...29,23 % (табл. 5). На содержание мышьяка, свинца, меди, никеля и железа основной вклад внесло взаимодействие таксон — часть растения (41,16...68,87 %); на долю первого фактора приходится 14,43...44,19 %, на долю второго — 9,19...33,22 % (табл. 5).

Таблица 5

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа элементного состава пионов

Элементы	Источники варьирования	SS	Df	ms	Fфакт	Доля, %
Мышьяк As	Общее	34,57	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	7,74	6,00	1,29	1605,87	22,39
	Часть растения (Б)	11,48	3,00	3,83	4764,83	33,22
	Взаимодействие (АБ)	15,30	18,00	0,85	1057,89	44,26
	Случайное	0,04	54,00	0,0008	—	—
Свинец Pb	Общее	30,67	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	9,21	6,00	1,53	5353,04	30,01
	Часть растения (Б)	5,74	3,00	1,91	6678,85	18,72
	Взаимодействие (АБ)	15,71	18,00	0,87	3044,60	51,21
	Случайное	0,02	54,00	0,0003	—	—
Кадмий Cd	Общее	36,95	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	21,32	6,00	3,55	51,83	57,71
	Часть растения (Б)	5,49	3,00	1,83	26,71	14,87
	Взаимодействие (АБ)	6,32	18,00	0,35	5,12	17,11
	Случайное	3,70	54,00	0,0686	—	—

Окончание табл. 5

Элементы	Источники варьирования	SS	Df	ms	Fфакт	Доля, %
Хром Cr	Общее	10,06	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	5,68	6,00	0,95	709,62	56,45
	Часть растения (Б)	1,36	3,00	0,45	339,60	13,51
	Взаимодействие (АБ)	2,94	18,00	0,16	122,48	29,23
	Случайное	0,072	54,00	0,00133	—	—
Медь Cu	Общее	2,68	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	1,18	6,00	0,20	668,02	44,19
	Часть растения (Б)	0,25	3,00	0,08	277,82	9,19
	Взаимодействие (АБ)	1,23	18,00	0,07	231,78	46,00
	Случайное	0,016	54,00	0,00030	—	—
Никель Ni	Общее	5,48	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	1,66	6,00	0,28	421,16	30,25
	Часть растения (Б)	1,53	3,00	0,51	777,33	27,92
	Взаимодействие (АБ)	2,25	18,00	0,13	191,00	41,16
	Случайное	0,035	54,00	0,00066	—	—
Марганец Mn	Общее	0,50	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	0,35	6,00	0,06	836,37	70,83
	Часть растения (Б)	0,01	3,00	0,00	55,97	2,37
	Взаимодействие (АБ)	0,13	18,00	0,01	102,48	26,04
	Случайное	0,004	54,00	0,00007	—	—
Железо Fe	Общее	2,95	83,00	—	—	—
	Таксон (А)	0,43	6,00	0,07	21,20	14,43
	Часть растения (Б)	0,30	3,00	0,10	30,25	10,30
	Взаимодействие (АБ)	2,03	18,00	0,11	33,73	68,87
	Случайное	0,181	54,00	0,00335	—	—

Table 5

Results of two-factor analysis of variance of the elemental composition of paeonies

The elements	Sources of variation	SS	Df	ms	Ffact	Share, %
Arsenic (As)	General	34.57	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	7.74	6.00	1.29	1605.87	22.39
	Part of the plant (B)	11.48	3.00	3.83	4764.83	33.22
	Interaction (AB)	15.30	18.00	0.85	1057.89	44.26
	Random	0.04	54.00	0.0008	—	—
Lead (Pb)	General	30.67	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	9.21	6.00	1.53	5353.04	30.01
	Part of the plant (B)	5.74	3.00	1.91	6678.85	18.72
	Interaction (AB)	15.71	18.00	0.87	3044.60	51.21
	Random	0.02	54.00	0.0003	—	—

Ending of table 5

The elements	Sources of variation	SS	Df	ms	Ffact	Share, %
Cadmium (Cd)	General	36.95	83.00	–	–	–
	Taxon (A)	21.32	6.00	3.55	51.83	57.71
	Part of the plant (B)	5.49	3.00	1.83	26.71	14.87
	Interaction (AB)	6.32	18.00	0.35	5.12	17.11
	Random	3.70	54.00	0.0686	–	–
Chromium (Cr)	General	10.06	83.00	–	–	–
	Taxon (A)	5.68	6.00	0.95	709.62	56.45
	Part of the plant (B)	1.36	3.00	0.45	339.60	13.51
	Interaction (AB)	2.94	18.00	0.16	122.48	29.23
	Random	0.072	54.00	0.00133	–	–
Copper (Cu)	General	2.68	83.00	–	–	–
	Taxon (A)	1.18	6.00	0.20	668.02	44.19
	Part of the plant (B)	0.25	3.00	0.08	277.82	9.19
	Interaction (AB)	1.23	18.00	0.07	231.78	46.00
	Random	0.016	54.00	0.00030	–	–
Nickel (Ni)	General	5.48	83.00	–	–	–
	Taxon (A)	1.66	6.00	0.28	421.16	30.25
	Part of the plant (B)	1.53	3.00	0.51	777.33	27.92
	Interaction (AB)	2.25	18.00	0.13	191.00	41.16
	Random	0.035	54.00	0.00066	–	–
Manganese (Mn)	General	0.50	83.00	–	–	–
	Taxon (A)	0.35	6.00	0.06	836.37	70.83
	Part of the plant (B)	0.01	3.00	0.00	55.97	2.37
	Interaction (AB)	0.13	18.00	0.01	102.48	26.04
	Random	0.004	54.00	0.00007	–	–
Iron (Fe)	General	2.95	83.00	–	–	–
	Taxon (A)	0.43	6.00	0.07	21.20	14.43
	Part of the plant (B)	0.30	3.00	0.10	30.25	10.30
	Interaction (AB)	2.03	18.00	0.11	33.73	68.87
	Random	0.181	54.00	0.00335	–	–

В результате проведенного корреляционного анализа выявлены соотношения содержания изучаемых элементов друг с другом в разных частях растения (табл. 6—9). Так показано, что количество свинца и кадмия в стеблях, кадмия в цветках находится в прямой зависимости от содержания мышьяка с корреляцией в диапазоне 0,62...0,74. Также выявлена обратная зависимость содержания хрома в листьях, свинца и марганца в цветках, марганца в корнях, хрома в стеблях от количества мышьяка с корреляцией в диапазоне 0,49...0,83.

Таблица 6

Матрица корреляций содержания элементов в цветках пиона

Элементы	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1,00							
Pb	-0,49*	1,00						
Cd	0,63**	-0,03	1,00					
Cr	-0,05	-0,26	-0,61**	1,00				
Cu	0,09	-0,48*	-0,41	0,78**	1,00			
Ni	0,32	-0,32	0,50*	-0,63**	-0,66**	1,00		
Mn	-0,65**	0,15	-0,36	0,33	0,16	-0,29	1,00	
Fe	0,21	-0,60**	0,25	-0,34	-0,31	0,84**	0,04	1,00

Примечание. * – значимо на 5 % уровне; ** – значимо на 1 % уровне; отсутствие символа * указывает на незначимость коэффициента.

Table 6

Correlation matrix of the content of elements in flowers of paeony

Indicators	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1.00							
Pb	-0.49*	1.00						
Cd	0.63**	-0.03	1.00					
Cr	-0.05	-0.26	-0.61**	1.00				
Cu	0.09	-0.48*	-0.41	0.78**	1.00			
Ni	0.32	-0.32	0.50*	-0.63**	-0.66**	1.00		
Mn	-0.65**	0.15	-0.36	0.33	0.16	-0.29	1.00	
Fe	0.21	-0.60**	0.25	-0.34	-0.31	0.84**	0.04	1.00

Note. * – significant at the 5 % level; ** – significant at the 1 % level; the absence of the * indicates the insignificance of the coefficient.

Таблица 7

Матрица корреляций содержания элементов в листьях пиона

Элементы	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1,00							
Pb	-0,34	1,00						
Cd	0,38	-0,18	1,00					
Cr	-0,66**	0,65**	-0,02	1,00				
Cu	-0,14	-0,09	-0,14	-0,27	1,00			
Ni	-0,02	-0,03	-0,10	-0,27	0,17	1,00		
Mn	-0,39	0,29	0,08	0,40	0,53*	-0,01	1,00	
Fe	0,30	-0,13	-0,20	0,02	-0,78**	-0,14	-0,47*	1,00

Примечание. * – значимо на 5 % уровне; ** – значимо на 1 % уровне; отсутствие символа * указывает на незначимость коэффициента.

Table 7

Correlation matrix of the content of elements in leaves of paeony

Indicators	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1.00							
Pb	-0.34	1.00						
Cd	0.38	-0.18	1.00					
Cr	-0.66**	0.65**	-0.02	1.00				
Cu	-0.14	-0.09	-0.14	-0.27	1.00			
Ni	-0.02	-0.03	-0.10	-0.27	0.17	1.00		
Mn	-0.39	0.29	0.08	0.40	0.53*	-0.01	1.00	
Fe	0.30	-0.13	-0.20	0.02	-0.78**	-0.14	-0.47*	1.00

Note. * – significant at the 5 % level; ** – significant at the 1 % level; the absence of the * indicates the insignificance of the coefficient.

Таблица 8

Матрица корреляций содержания элементов в стеблях пиона

Элементы	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1,00							
Pb	0,74**	1,00						
Cd	0,62**	0,77**	1,00					
Cr	-0,83**	-0,60**	-0,32	1,00				
Cu	-0,03	0,27	0,64**	0,12	1,00			
Ni	-0,13	-0,05	-0,04	-0,00	0,26	1,00		
Mn	-0,38	-0,22	0,01	0,23	0,66**	0,13	1,00	
Fe	-0,20	-0,08	-0,20	0,38	-0,08	-0,06	0,10	1,00

Примечание. * – значимо на 5 % уровне; ** – значимо на 1 % уровне; отсутствие символа * указывает на незначимость коэффициента.

Table 8

Correlation matrix of the content of elements in stems of paeony

Indicators	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1.00							
Pb	0.74**	1.00						
Cd	0.62**	0.77**	1.00					
Cr	-0.83**	-0.60**	-0.32	1.00				
Cu	-0.03	0.27	0.64**	0.12	1.00			
Ni	-0.13	-0.05	-0.04	-0.00	0.26	1.00		
Mn	-0.38	-0.22	0.01	0.23	0.66**	0.13	1.00	
Fe	-0.20	-0.08	-0.20	0.38	-0.08	-0.06	0.10	1.00

Note. * – significant at the 5 % level; ** – significant at the 1 % level; the absence of the * indicates the insignificance of the coefficient.

Таблица 9

Матрица корреляций содержания элементов в корнях пиона

Элементы	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1,00							
Pb	0,39	1,00						
Cd	0,02	0,48*	1,00					
Cr	-0,26	-0,64**	-0,33	1,00				
Cu	-0,25	-0,17	-0,28	0,61**	1,00			
Ni	0,08	-0,08	-0,13	-0,43*	-0,04	1,00		
Mn	-0,64**	-0,19	-0,07	0,35	0,62**	-0,04	1,00	
Fe	-0,19	-0,27	-0,06	0,80**	0,52*	-0,35	0,26	1,00

Примечание. * – значимо на 5 % уровне; ** – значимо на 1 % уровне; отсутствие символа * указывает на незначимость коэффициента.

Table 9

Correlation matrix of the content of elements in roots of paeony

Indicators	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
As	1.00							
Pb	0.39	1.00						
Cd	0.02	0.48*	1.00					
Cr	-0.26	-0.64**	-0.33	1.00				
Cu	-0.25	-0.17	-0.28	0.61**	1.00			
Ni	0.08	-0.08	-0.13	-0.43*	-0.04	1.00		
Mn	-0.64**	-0.19	-0.07	0.35	0.62**	-0.04	1.00	
Fe	-0.19	-0.27	-0.06	0.80**	0.52*	-0.35	0.26	1.00

Note. * – significant at the 5 % level; ** – significant at the 1 % level; the absence of the * indicates the insignificance of the coefficient.

Выводы

Анализ содержания восьми элементов в разных образцах сырья некоторых представителей рода *Raeonia* позволил выявить, что минимальные концентрации мышьяка, кадмия, хрома, марганца и железа наблюдаются в корнях; свинца и никеля — в цветках; меди — в листьях изучаемых пионов. Максимальное содержание мышьяка, свинца, хрома обнаружено в листьях; кадмия, никеля, марганца — в стеблях; железа — в цветках. Показано, что все изучаемые растения имеют достаточно высокое содержание меди (в 4,15...2520,00 раз выше по сравнению с другими элементами) во всех видах сырья. Максимальное содержание отмечено в корнях, минимальное в листьях растений. Отмечена видо- и сортоспецифичность в содержании элементов в надземных и подземных частях растений.

Результаты корреляционного анализа показали, что абсолютные значения концентраций изучаемых элементов у рассматриваемых таксонов пионов коррелируют между собой в средней и сильной степени. Так, положительная сильная связь выявлена между количеством хрома и меди (0,78), никеля и железа (0,84) в цветках; мышьяком и свинцом (0,74), свинцом и кадмием (0,77) в стеблях; хромом и железом в корнях (0,80). Отрицательная сильная связь отмечена между железом и медью (–0,78) в листьях; мышьяком и хромом (–0,83) в стеблях.

Корреляционное исследование пар элементов разрешает выявить синергизм накопления и его отсутствие, что соответствует мнению других авторов.

Библиографический список

1. Седельникова Л.Л., Чанкина О.В. Содержание тяжелых металлов в вегетативных органах красноднева гибридного (*Neomerocallis hybrida*) в урбанизированной среде // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2 (113). С. 34—43.
2. Михальчук Н.В. Тяжелые металлы и микроэлементы в фоновых почвах и агроландшафтах юго-запада Беларуси // Агроэкологічний журнал. 2017. № 3. С. 27—31.
3. Ильинский А.В. Анализ коэффициентов биологического поглощения тяжелых металлов для кормовой свеклы // Евразийский союз ученых. 2020. № 2—6 (71). С. 9—12. doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.612
4. Мажайский Ю.А., Гальченко С.В., Гусева Т.М., Чердакова А.С. Накопление тяжелых металлов декоративными цветочными культурами // Успехи современной науки и образования. 2016. № 9. Т. 3. С. 203—205.
5. Елагина Д.С., Архипова Н.С., Сибгатуллина М.Ш. Изучение особенностей накопления тяжелых металлов растениями *Amaranthus retroflexus* L. // Молодые ученые и фармацевтика XXI века. Москва, 2016. С. 189—195.
6. Миронова Л.Н., Реут А.А. Пионы. Коллекции ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН. Уфа: Башк. энцикл., 2017. 152 с.
7. Реут А.А., Миронова Л.Н. Редкие виды рода *Raeonia* L. при культивировании в Башкирском Предуралье // Аграрная Россия. 2018. № 2. С. 30—34.
8. Абрамова Л.М., Анищенко И.Е., Вафин Р.В., Голованов Я.М., Жигунов О.Ю., Зарипова А.А., Кашиева Г.Г., Лебедева М.В., Полякова Н.В., Реут А.А., Шиганов З.Х. Растения Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН / под общ. ред. Л.М. Абрамовой. Уфа: Мир печати, 2019. 304 с.
9. Фотев Ю.В., Шевчук О.М., Сысо А.И. Изучение вариативности 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
10. 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

11. 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
12. Гончар-Зайкин П.П., Чертов В.Г. Надстройка к Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов. Режим доступа: <http://vniioh.ru/nadstrojka-k-excel-dlya-statisticheskoy-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevux-i-laboratornyx-opytov/> Дата обращения: 28.10.2021.
13. Чекин Г.В., Никифоров В.М. Развитие корневой системы яровой пшеницы на ранних стадиях онтогенеза при предпосевной обработке семян хелатными препаратами // Актуальные проблемы агро-технологий XXI века и концепции их устойчивого развития: материалы национальной заочной научно-практической конференции / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Департамент научно-технологической политики и образования; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I; под общ. ред. Н.И. Бухтоярова, Н.М. Дерканосовой, В.А. Гулевского. Воронеж, 2016. С. 34—38.
14. Нестеров М.И., Кривохижина Л.В., Ермолаева Е.Н., Кантюков С.А. Влияние степени и срока кровопотери на уровень триглицеридов, фосфолипидов, общего холестерина, холестерина в липопротеинах // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25632> Дата обращения: 27.10.2021.
15. Будко Е.В., Ямпольский Л.М., Жуков И.М., Черникова Д.А. Концентрационные корреляции элементной организации гемостатических растений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 7. С. 95—100.
16. Захаров В.Г., Мишенькина О.Г. Адаптивные свойства новых сортов овса в условиях Средне-волжского региона // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (52). С. 100—107. doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-100-107

References

1. Sedelnikova LL, Chankina OV. The content of heavy metals in the vegetative organs of *Hemerocallis hybrida* in urban environment. *Bulletin of KSAU*. 2016; (2):34—43. (In Russ.).
2. Mihalchuk NV. Heavy metals and microelements in background soils and agricultural landscapes in southwestern Belarus. *Agroecological journal*. 2017; (3):27—31. (In Russ.).
3. Ilnskiy AV. Analysis of biological absorption coefficients of heavy metals for fodder beet. *Eurasian Union of Scientists*. 2020; (2—6):9—12. (In Russ.). doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.612
4. Mazhaysky YA, Galchenko SV, Guseva TM, Cherdakova AS. Accumulation of heavy metals by decorative flower crops. *Success of modern science and education*. 2016; 3(9):203—205. (In Russ.).
5. Elagina DS, Arkhipova NS, Sibgatullina MS. Study of the features of the accumulation of heavy metals in *Amaranthus retroflexus* L. In: *Young scientists and pharmacy of the XXI century: conference proceedings*. Moscow: Nauka publ.; 2016. p.189—195. (In Russ.).
6. Mironova LN, Reut AA. *Piony. Kollekcii botanicheskogo sada-instituta Ufimskogo nauchnogo centra RAN [Peonies. Collections of the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*. Ufa: Bashk. entsikl. publ.; 2017. (In Russ.).
7. Reut AA, Mironova LN. Rare species of the genus *Paeonia* L. cultivated in the Bashkir Urals region. *Agrarian Russia*. 2018; (2):30—34. (In Russ.).
8. Abramova LM, Anishhenko IE, Vafin RV, Golovanov YM, Zhigunov OY, Zaripova AA, et al. *Rastenija Juzhno-Ural'skogo botanicheskogo sada-instituta UFIC RAN [Plants of the South Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences]*. Ufa: Mir pečati publ.; 2019. (In Russ.).
9. Fotev YV, Shevchuk OM, Syso AI. Variability of macro- and microelement composition of accessions of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in the south of western Siberia and in the Crimea. *Chemistry of plant raw material*. 2021; (2):217—226. (In Russ.). doi: 10.14258/JCPRM.2021027543
10. Reut AA, Biglova AR, Allayarova IN. 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; (2):79—90. (In Russ.). doi: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90
11. Simonova OA, Simonov MV, Tovstik EV. Varietal features of bioaccumulation of iron in barley plants. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2020; (3):142—150. (In Russ.). doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151

12. Gonchar-Zaykin PP, Chertov VG. Excel add-in for statistical evaluation and analysis of the results of field and laboratory experiments. In: *Development of adaptive systems of environmental protection technologies for agricultural products in arid regions of Russia: conference proceedings*. Moscow; 2003. p.559—565. (In Russ.).

13. Chekin GV, Nikiforov VM. Development of the root system of spring wheat at the early stages of ontogenesis during pre-sowing treatment of seeds with chelate products. In: Bukhtoyarov NI, Derkanosova NM, Gulevsky VA. (eds.) *Current problems of agrotechnologies of the XXI century and concepts of their sustainable development: conference proceedings*. Voronezh; 2016. p.34—38. (In Russ.).

14. Nesterov MI, Krivohizhina LV, Ermolaeva EN, Kantuyukov SA. The influence duration and degree blood loss on triglycerides, phospholipids, total cholesterol, cholesterol in lipoproteins. *Modern Problems of Science and Education*. 2016; (6):101. (In Russ.).

15. Budko EV, Yampolskiy LM, Zhukov IM, Chernikova DA. Concentration correlations of the elemental organization of hemostatic plants. *International journal of applied and fundamental research*. 2018; (7):95—100. (In Russ.).

16. Zakharov VG, Mishenkina OG. Adaptive properties of new oat varieties in the Middle Volga region. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2020; (4):100—107. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-100-107

Об авторах:

Реут Антонина Анатольевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, Южно-Уральский ботанический сад-институт — обособленное структурное подразделение федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450080, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, д. 195/3; e-mail: cvetok.79@mail.ru
ORCID 0000-0002-4809-6449, SPIN-код: 3175-7700

Денисова Светлана Галимулловна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, Южно-Уральский ботанический сад-институт — обособленное структурное подразделение федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450080, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Менделеева, д. 195/3; e-mail: svetik-7808@mail.ru
ORCID 0000-0002-9005-9377, SPIN-код: 2003-5299

About authors:

Reut Antonina Anatolyevna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory for the Introduction and Selection of Floral Plants, South-Ural Botanical Garden-Institute, Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, 195/3 Mendeleev st., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450080, Russian Federation; e-mail: cvetok.79@mail.ru
ORCID 0000-0002-4809-6449, SPIN-code: 3175-7700

Denisova Svetlana Galimullovna — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory for the Introduction and Selection of Floral Plants, South-Ural Botanical Garden-Institute, Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, 195/3 Mendeleev st., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450080, Russian Federation, e-mail: svetik-7808@mail.ru
ORCID 0000-0002-9005-9377, SPIN code: 2003-5299

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-353-361
УДК 632.952:633.854.78(470.4)

Научная статья / Research article

Оценка биологической и экономической эффективности применения фунгицида АМИСТАР Голд в посевах подсолнечника в условиях Нижнего Поволжья

Д.И. Парпура¹✉, А.И. Сидорцов², Г.П. Атмачьян¹¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Саратовский государственный аграрный университет, г. Саратов, Российская Федерация

✉ 1032163741@rudn.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема защиты подсолнечника от одной из болезней листового аппарата — ржавчины. Приведены результаты двухлетнего эксперимента по изучению эффективности применения фунгицида АМИСТАР® Голд, СК (действующее вещество: 125 г/л азоксистробин, 125 г/л дифеноконазол) в посевах гибридов подсолнечника в условиях Нижнего Поволжья. Величина сохраненного урожая в среднем составила 3...4 ц/га при обработке в фазу начало бутонизации. Биологическая эффективность препарата составила от 85 до 90 %. Расчет экономической эффективности показал рентабельность в зависимости от года 145...255 %.

Ключевые слова: подсолнечник, фунгицид, биологическая эффективность, ржавчина, *Puccinia helianthi* Schw., гибрид

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Средства защиты растений и гибриды семян были закуплены хозяйством Сельскохозяйственная Артель Колхоз «Новые Выселки» для производственного использования, в т. ч. для проведения опытов.

История статьи: поступила в редакцию 1 ноября 2021 г.; принята к публикации 17 декабря 2021 г.

Для цитирования: Парпура Д.И., Сидорцов А.И., Атмачьян Г.П. Оценка биологической и экономической эффективности применения фунгицида АМИСТАР Голд в посевах подсолнечника в условиях Нижнего Поволжья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 353—361. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-353-361

© Парпура Д.И., Сидорцов А.И., Атмачьян Г.П., 2021

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Biological and economic evaluation of AMISTAR Gold fungicide against sunflower rust in the Lower Volga region

Denis I. Parpura¹ ✉, Anton I. Sidortsov², Gaik P. Atmachyan¹

¹Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russian Federation

²Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation

✉ 032163741@rudn.ru

Abstract. Rust is one of the most economically important foliar diseases of sunflower. The problem of sunflower disease control was considered. The article presents the results of a two-year experiment studying the efficiency of AMISTAR® Gold fungicide, concentrated suspension (active ingredient: Azoxystrobin 125 g/L, Difenoconazole 125 g/L) in sunflower hybrids in the Lower Volga region. Flowerbud development stage was the best application timing for increasing productivity. Therefore, sunflower yield averaged 3...4 c/ha. The biological efficiency of the fungicide ranged from 85 to 90 %. The calculation of economic efficiency showed 145...255 % profitability depending on the year.

Key words: sunflower, fungicide, biological efficiency, rust, *Puccinia helianthi* Schw., hybrid

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. Plant protection products and hybrid seeds were purchased by 'Novye Vyselki' agricultural collective farm for productive use, including experiments.

Article history: Received: 1 November 2021. Accepted: 17 December 2021.

For citation: Parpura D.I., Sidortsov A.I., Atmachyan G.P. Biological and economic evaluation of AMISTAR Gold fungicide against sunflower rust in the Lower Volga region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):353—361. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-353-361

Введение

Подсолнечник *Helianthus annuus* L. является одной из основных культур многих регионов Российской Федерации. Высокая рентабельность производства этой масличной культуры связана с увеличением спроса на масличное сырье как в России, так и за рубежом, что спровоцировало увеличение посевных площадей с 2015 г. на 37 %, с 7 до 9,6 млн га в 2021 г. [1]. Тенденция роста скорее всего будет продолжаться на фоне засухи и недополучения урожая в 2020 г., что стало катализатором резкого повышения цен на масло.

Активное расширение посевных площадей подсолнечника, насыщение им севооборотов ведет к значительным изменениям видового состава, интенсивности развития фитопатогенов, условий окружающей среды в складывающихся агробиоценозах [2, 3]. Все это наносит ущерб и приводит к потере запланированного урожая. Кроме того, подсолнечник вытесняет из севооборота другие нишевые культуры.

При оценке фитосанитарного состояния посевов подсолнечника в России и странах СНГ наиболее часто встречаются следующие болезни листового аппа-

рата: альтернариоз, септориоз, фомоз, ржавчина, пероноспороз. Видовой состав этих заболеваний и распространенность на семенах и вегетирующих растениях частично описаны [3, 4].

Ржавчина на подсолнечнике — едва ли не самая распространенная и вредоносная болезнь. Возбудитель — узкоспециализированный базидиальный гриб *Puccinia helianthi* Schw., порядок *Uredinales* [5]. Можно выделить три стадии и пять типов спороношения в цикле развития данного гриба на подсолнечнике. Формы проявления, как правило, различны, это связано с тем, что стадии развития патогена неодинаковы. Патоген заражает подсолнечник во все фазы роста и этапы развития от семядолей до полного созревания.

Ржавчина стала одной из первых и важных проблем на пути популяризации культуры подсолнечника в России и зарубежье [6]. Периодически и повсеместно возникали эпифитотии. Сообщения о сильном поражении подсолнечника возбудителем ржавчины поступали из Канады, Германии, Австрии, Италии, Румынии, Сербии, Швеции и Америки. В дальнейшем с этой проблемой столкнулись все страны, возделывающие эту культуру [7].

Ощутимую вредоносность представляет ржавчина подсолнечника, независимо от того, заражение произошло вначале вегетации растения или на поздней стадии развития. Потери могут составить от 10 до 50 % и более, кроме этого, также снижается масличность семян до 10 % [8, 9].

На сегодняшний день компании-производители семян с помощью селекционных достижений создают гибриды с разной степенью толерантности к тем или иным заболеваниям подсолнечника, в частности есть нишевые гибриды с достаточно высокой толерантностью к возбудителю ржавчины, но проблема до конца не решена [10].

Исследования по эффективности применения фунгицидов в ранние фазы роста и развития растений также не дают желаемых результатов, либо приходится повторно проводить обработки [11]. Все больше результаты исследований показывают целесообразность применения фунгицидов профилактически во второй половине вегетации подсолнечника в фазе начало бутанизации — перед цветением, когда у растений полностью сформирован листовой аппарат [12, 13].

Доля применения фунгицидов на подсолнечнике в России по сравнению с зарубежными странами минимальная. Причиной является то, что до сих пор нет сортов и гибридов семян с высокой толерантностью к основным заболеваниям подсолнечника, нет четких методических указаний по применению фунгицидов в наиболее восприимчивые фазы растений, кроме того, сельхозтоваропроизводители не имеют в достаточном количестве высококлиренсной техники для внесения фунгицидов, также применяют незарегистрированных препараты, в т. ч. с помощью авиации.

В связи с этим все большее значение приобретает интегрированная защита подсолнечника, рационально сочетающая селекционные, агротехнические, химические, биологические и организационно-хозяйственные приемы, уменьшающие вредное воздействие фитофагов и патогенов при максимальном сохранении полезной фауны и флоры [2].

Цель исследования — оценить биологические и экономические показатели эффективности применения фунгицида Амистар Голд на подсолнечнике в условиях Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследования

Для разработки эффективных элементов системы защиты растений против возбудителя болезни ржавчины подсолнечника *Puccinia helianthi* Schw. в технологии возделывания данной культуры в Саратовской области в 2020—2021 гг. изучали эффективность применения фунгицида Амистар Голд в дозировке 1 л/га в фазу культуры начало бутонизации (звездочка).

АМИСТАР® Голд, СК — системный комбинированный фунгицид от компании «Сингента» для защиты пропашных культур от комплекса болезней (действующее вещество: 125 г/л азоксистробин, 125 г/л дифеноконазол).

Исследования выполняли на базе хозяйства Сельскохозяйственная Артель Колхоз «Новые Выселки» в Калининском районе Саратовской области на среднеранних гибридах подсолнечника компании «Сингента»: Алькантара (Alcantara) и СИ Розета КЛП (SI Rozeta KLP).

Площадь делянки 140 м², повторность — 3-кратная. Расположение делянок последовательное в один ярус. Предшественник — озимая пшеница. Норма высева — 60 тыс. семян на 1 га. Технология возделывания подсолнечника была общепринятая для данных почвенно-климатических условий.

Посев был произведен сеялкой MaterМасс MS8100, опрыскивание проводили с помощью высококлиренсного опрыскивателя Challenger RoGator 700 с 3D щелевыми распылителями. Расход рабочей жидкости — 300 л/га.

Агрохимический анализ почвы проводили на глубину пахотного горизонта (0—30 см). Почва опытного участка — чернозем обыкновенный среднemocный среднегумусный тяжелосуглинистый с рН водной вытяжки — 7,6, содержание нитратного азота — 5,2 мг/кг почвы, подвижного фосфора — 31,2 мг/кг почвы, калия — 267 мг/кг почвы, содержание органического вещества — 6,1 %.

Учеты, наблюдения и анализы выполняли по общепринятым методикам [14, 15], а математическую обработку результатов опыта — по Б.А. Доспехову¹.

Результаты исследования и обсуждения

Годы проведения эксперимента характеризовались неодинаковыми климатическими условиями. 2020 г. можно обозначить как год с недостаточным уровнем увлажнения (189 мм осадков за вегетационный период), относительно среднесуточных данных, 2021 г. — с достаточным уровнем увлажнения (283 мм осадков за тот же период). В целом годы проведения эксперимента сложились как неста-

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. С. 207–232.

Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment technique]. Moscow: Agropromizdat; 1985.

бильные по метеорологическим условиям, засушливая погода чередовалась с избыточным выпадением осадков по сравнению со среднемноголетними показателями.

При сопоставлении климатических условий, которые складывались во время проведения опыта, с оптимальными условиями для распространения и развития ржавчины на подсолнечнике мы получили достаточно закономерное проявление данного возбудителя по годам в полевых условиях. В табл. 1 приведены данные по учету развития и распространения болезни до применения фунгицида и через 28 дней после обработки.

Таблица 1

Средние значения степени развития, распространения возбудителя ржавчины (*Puccinia helianthi* Schw.) на подсолнечнике и биологической эффективности фунгицида

Проявление болезни	Варианты					
	АМИСТАР Голд, СК		АМИСТАР Голд, СК		Контроль	
	Алькantara		СИ Розета КЛП		Алькantara	СИ Розета КЛП
	До обработки	Через 28 дней после обработки	До обработки	Через 28 дней после обработки	Через 28 дней	Через 28 дней
2020 г.						
Степень развития, %	1,4	0,5	3,6	1,1	11,3	14,2
Распространенность болезни, %	34,3	9,4	43,7	12,5	87,1	94,4
Биологическая эффективность, %	–	89,2	–	86,8	–	–
2021 г.						
Степень развития, %	5,1	1,6	9,8	3,5	21,1	23,9
Распространенность болезни, %	52,4	12,3	73,4	14,9	100	100
Биологическая эффективность, %	–	87,7	–	85,1	–	–

Table 1

Development and spread of sunflower rust (*Puccinia helianthi* Schw.) and biological efficiency of the fungicide

Disease symptoms	Variants					
	AMISTAR Gold, SC		AMISTAR Gold, SC		Control	
	Alkantara		SI Rozeta KLP		Alkantara	SI Rozeta KLP
	Before application	28 days after application	Before application	28 days after application	After 28 days	After 28 days
2020						
Development,%	1.4	0.5	3.6	1.1	11.3	14.2
Prevalence,%	34.3	9.4	43.7	12.5	87.1	94.4
Biological efficiency,%	–	89.2	–	86.8	–	–
2021						
Development,%	5.1	1.6	9.8	3.5	21.1	23.9
Prevalence,%	52.4	12.3	73.4	14.9	100	100
Biological efficiency,%	–	87.7	–	85.1	–	–

После посева третья декада мая 2020 г. в Калининском районе Саратовской области выдалась достаточно прохладной с температурой воздуха днем 10...15 °С, но с достаточным уровнем увлажнения — 39,2 мм, а в июне температура воздуха была достаточно высокой, что типично для данной местности, и с минимальным количеством осадков. При обследовании посевов перед применением фунгицида в фазе начало бутонизации (звездочка) мы обнаружили некритичное развитие возбудителя ржавчины на уровне 1...4 %, распространение при этом на гибриде Алькантара составило 34,3 %, на гибриде СИ Розета КЛП — 43,7 %.

Учеты биологической эффективности фунгицида проводили через 28 дней после обработки. Распространенность на гибриде Алькантара на контрольном участке составила 87,1 %, на участке с фунгицидом — 9,4 %, а на гибриде СИ Розета КЛП — 94,4 и 12,5 % соответственно. Биологическая эффективность применения фунгицида составила 89,2 (Алькантара) и 86,8 % (СИ Розета КЛП).

По сравнению с предыдущим годом после посева третья декада мая 2021 г. выдалась засушливой с минимальным количеством осадков 3,1 мм при средней температуре воздуха днем 18...20 °С, далее с 1 по 15 июня выпало 71,8 мм осадков при температуре воздуха днем около 20 °С, с середины июня установилась воздушная засуха, осадков практически не было, температура воздуха около 25 °С.

При обследовании посевов перед применением фунгицида степень развития возбудителя ржавчины в связи с климатическими условиями, которые были описаны выше, составила 5...10 %, а распространение — 50...70 %. Через 28 дней после применения биологическая эффективность фунгицида Амистар Голд составила 87,7 и 85,1 % на гибридах Алькантара и СИ Розета КЛП соответственно.

Результаты по урожайности и экономической эффективности фунгицида с ориентиром на среднюю цену закупки маслосемян подсолнечника на момент уборки в 2020—2021 гг. — 30 000 руб./т приведены в табл. 2. Общие затраты на применение фунгицида в среднем в хозяйствах составляют 300 р./га. Рекомендованная цена от компании «Сингента» на фунгицид в 2021 г. — 3 294,00 р., вкл. НДС за 1 л.

Таблица 2

Результаты средней урожайности и экономической эффективности применения фунгицида

Гибрид	Урожайность при стандартной влажности 7 %, ц/га		Сохраненный урожай, ц/га	Стоимость сохраненного урожая с учетом стоимости фунгицида и затрат на обработку, р./га	Рентабельность применения фунгицида, %
	Контроль без фунгицида	Амистар Голд 1 л/га			
2020 г.					
Алькантара	26,70	30,95	4,25	9 156	254,8
СИ Розета КЛП	24,57	27,75	3,18	5 946	165,4
2021 г.					
Алькантара	20,37	23,63	3,26	6 186	172,1
СИ Розета КЛП	19,92	22,86	2,94	5 226	145,4

Average yield and economic efficiency of AMISTAR Gold fungicide application

Hybrid	Yield at standard moisture content (7 %), c/ha		Yield, c/ha	Value of crop including cost of fungicide and treating, rubles/ha	Economic efficiency of fungicide application, %
	Control (untreated)	AMISTAR Gold 1 L/ha			
2020					
Alkantara	26.70	30.95	4.25	9 156	254.8
SI Rozeta KLP	24.57	27.75	3.18	5 946	165.4
2021					
Alkantara	20.37	23.63	3.26	6 186	172.1
SI Rozeta KLP	19.92	22.86	2.94	5 226	145.4

Тенденция большего развития и распространения возбудителя ржавчины подсолнечника в соответствии со сложившимися климатическими условиями закономерно повлияла и на показатели итоговой урожайности каждого из гибридов.

В 2020 г. с применением фунгицида удалось сохранить урожай на гибридах Алькантара — на 13,7 %, СИ Розета КЛП — на 11,4 % больше, чем на контрольных участках, что позволило получить экономический эффект 9156 и 5946 р./га соответственно.

Несмотря на то, что общая урожайность подсолнечника в 2021 г. была ниже, в процентном соотношении обработка фунгицидом позволила сохранить урожай на гибридах на уровне 13,8 (Алькантара) и 12,9 % (СИ Розета КЛП).

Выводы

По результатам проведенных опытов фунгицид Амистар Голд на подсолнечнике против возбудителя болезни ржавчины показывает высокую биологическую и экономическую эффективность.

Это связано с химическим составом препарата, в котором содержатся два действующих вещества с разным механизмом действия на растения и патогены, что позволяет получить высокие показатели рентабельности как в годы с засушливыми условиями, так и в годы с достаточным уровнем осадков, при различном развитии и распространении заболеваний.

Данные исследования позволяют рекомендовать применение фунгицида Амистар Голд в норме 1 л/га на подсолнечнике в производстве.

Библиографический список

1. Лукомец В.М., Зеленцов С.В., Кривошлыков К.М. Перспективы и резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015. № 4 (164). С. 81—102.
2. Лукомец В.М., Пивень В.Т., Тишков Н.М. Защита подсолнечника от вредителей и болезней // Защита и карантин растений. 2007. № 5. С. 14—16.

3. Саскевич П.А., Устинова Н.В. Моторинг болезней листового аппарата подсолнечника в условиях северо-востока Беларуси // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 105—110.
4. Выприцкий А.С., Плехотник В.В., Выприцкая А.А. Возбудители особо опасных болезней подсолнечника в ЦЧЗ // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем: материалы междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2006. С. 134—136.
5. Децына А.А., Терещенко Г.А., Илларионова И.В. Распространенность ржавчины на сортах подсолнечника в условиях Краснодарского края // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 2 (174). С. 101—106.
6. Арасланова Н.М., Антонова Т.С., Ивевбор М.В., Хатнянский В.И. Определение расовой принадлежности изолятов ржавчины (*Puccinia helianthi* Schwein.), поражающей подсолнечник в некоторых регионах России // Масличные культуры. Защита растений, иммунология. 2019. № 4 (180). С. 107—112.
7. Sackston W.E. Studies on sunflower rust: III. occurrence, distribution, and significance of races of *Puccinia helianthi* Schw. // Canadian Journal of Botany. 1962. № 40 (11). P. 1449—1458. doi: 10.1139/b62-139
8. Кузьмина Г.Н., Васина М.В. Передача болезней подсолнечника через семена как фактор сохранения инфекции // Постиндустриальный мир: наука в диалоге Востока и Запада: материалы Междунар. молодежного форума. Усть-Каменогорск: Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Манжолова, 2011. С. 199—204.
9. Лукомец В.М., Пивень В.Т., Тишков Н.М., Шуляк И.И. Защита подсолнечника // Защита и карантин растений. 2008. № 2. С. 78(2)—108(32). (Библиотечка по защите растений).
10. Анисимова И.Н., Алпатьева Н.В., Карабицина Ю.И., Кузнецова Е.Б., Рожкова В.Т., Гаврилова В.А. Идентификация генов хозяйственно ценных признаков подсолнечника на основе молекулярного скрининга // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 7. С. 39—42.
11. Плужникова И.И., Криушин Н.В. Влияние фунгицидов и сроков их применения на интенсивность развития ржавчины на растениях подсолнечника // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 5 (365). С. 62—65. doi: 10.24411/2587-6740-2018-15080
12. Шуляк И.И., Мурадасилова Н.В. Сроки проведения защитных мероприятий против болезней подсолнечника // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. № 1 (165). С. 100—105.
13. Плужникова И.И., Криушин Н.В. Оценка эффективности использования фунгицидов на растениях подсолнечника в разных фазах его развития // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 64. № 2 (380). С. 61—64. doi: 10.24412/2587-6740-2021-2-61-64
14. Бегляров Г.А, Смирнова А.А., Баталова Т.С. и др. Химическая и биологическая защита растений / под ред. Г.А. Беглярова. М.: Колос, 1983. 351 с.
15. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений. М.: Арт-Лион, 2003. 208 с.

Reference

1. Lukomets VM, Zelentsov SV, Krivoshlykov KM. Outlook and reserves the expansion of oil crops production in the Russian Federation. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIMK*. 2015; (4):81—102. (In Russ.).
2. Lukomets VM, Piven VT, Tishkov NM. Sunflower protection from pests and diseases. *Plant protection and quarantine*. 2007; (5):14—16. (In Russ.).
3. Saskevich PA, Ustinova NV. Moting of diseases of the leaf apparatus of sunflower in the north-east of Belarus. *Bulletin of the Belarussian state agricultural academy*. 2018; (4):105—110. (In Russ.).
4. Vypritsky AS, Plakhotnik VV, Vypritskaya AA. Pathogens of potentially dangerous diseases of sunflower in Central Chernozem region. In: *Biological plant protection — the basis for stabilizing agroecosystems: conference proceedings*. Krasnodar; 2006. p.134—136. (In Russ.).
5. Detsyna AA, Tereshchenko GA, Illarionova IV. The prevalence of rust on sunflower varieties in the Krasnodar Territory. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIMK*. 2018; (2):101—106. (In Russ.). doi: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-101-106
6. Araslanova NM, Antonova TS, Iwebor MV, Khatnyansky VI. Race identification of isolates of *Puccinia helianthi* Schwein. that affects sunflower in some regions of Russia. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIMK*. 2019; (4):107—112. (In Russ.). doi: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-107-112

7. Sackston WE. Studies on sunflower rust: III. Occurrence, distribution, and significance of races of *Puccinia helianthi* Schw. *Canadian Journal of Botany*. 1962; 40(11):1449–1458. doi: 10.1139/b62-139
8. Kuzmina GN, Vasina MV. Transmission of sunflower diseases through seeds as a factor in the preservation of infection. In: *Postindustrial world: science in the dialogue between the East and the West: conference proceedings*. Ust-Kamenogorsk: Manzholov East Kazakhstan State University publ.; 2011. p.199–204. (In Russ.).
9. Lukomets VM, Piven VT, Tishkov NM, Shulyak II. Sunflower protection. *Plant protection and quarantine*. 2008; (2):78–108. (In Russ.).
10. Anisimova IN, Alpatieva NV, Karabitsina JL, Kuznetsova EB, Rozhkova VT, Gavrilova VA. Identification of genes encoding economically valuable characters of sunflower by molecular screening. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2015; 29(7):39–42. (In Russ.).
11. Pluzhnikova II, Kriushin NV. Effect of fungicides and timing of application on the intensity of development of rust on plants of sunflower. *International agricultural journal*. 2018; (5):62–65. (In Russ.). doi: 10.24411/2587-6740-2018-15080
12. Shulyak II, Muradasilova NV. The dates of implementation of protective procedures against sunflower diseases. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIMK*. 2016; (1):100–105. (In Russ.).
13. Pluzhnikova II, Kriushin NV. Evaluation of the effectiveness of the use of fungicides on sunflower plants in different phases of its development. *International agricultural journal*. 2021; 64(2):61–64. (In Russ.). doi: 10.24412/2587-6740-2021-2-61-64
14. Beglyarov GA. (ed.) *Khimicheskaya i biologicheskaya zashchita rastenii* [Chemical and biological protection of plants]. Moscow: Kolos publ., 1983. (In Russ.).
15. Popov SY, Dorozhkina LA, Kalinin VA. *Osnovy khimicheskoi zashchity rastenii* [Fundamentals of chemical plant protection]. Moscow: Art-Lion publ.; 2003. (In Russ.).

Об авторах:

Парпура Денис Игоревич — аспирант Агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: 1032163741@rudn.ru

Сидорцов Антон Иванович — студент Агрономического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Российская Федерация, 410012, г. Саратов, Театральная площадь, д. 1; e-mail: 1032163741@rudn.ru

Атмачьян Гайк Павлович — аспирант Агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: atmachian-gp@rudn.ru

About the authors:

Parpura Denis Igorevich — post-graduate student, Agrobiotechnological Department, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1032163741@rudn.ru

Sidortsov Anton Ivanovich — student, Faculty of Agronomy, Saratov State Vavilov Agrarian University, 1 Teatralnaya ploshchad, Saratov, 410012, Russian Federation; e-mail: 1032163741@rudn.ru

Atmachyan Gaik Pavlovich — Post-graduate student, Agrobiotechnological Department, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: atmachian-gp@rudn.ru



Общее земледелие Land management

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-362-369
УДК 633:631.4

Обзорная статья / Review article

Пространственная адаптация систем земледелия к пестроте полей

И.Ю. Савин 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация,
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Российская Федерация
✉ savin_iyu@esoil.ru

Аннотация. Проведен анализ проблемы полноты эксплуатации ресурсного потенциала земель при их использовании в качестве пахотных угодий. Рассмотрена полнота использования ресурсного потенциала в разных системах земледелия. Установлено, что на современном этапе развития систем земледелия наиболее успешно пестрота почв и земель и, соответственно, их ресурсный потенциал, учитываются в адаптивно-ландшафтных системах земледелия и системах точного земледелия. В будущем, без сомнения, стоимость внедрения систем точного земледелия будет уменьшаться за счет удешевления технических средств. Но без внедрения в идеологию систем точного земледелия научно-методического обоснования учета пестроты почв и земель участков (как это делается в адаптивно-ландшафтных системах земледелия), а не только неоднородностей самих посевов, повышение полноты использования ресурсного потенциала земель вряд ли может быть достигнуто. Другим важным направлением повышения полноты использования ресурсного потенциала земель являются развитие нового научного направления — эконики и разработка технологий выравнивания пестроты полей. Но развитие этих направлений находится в самом начале.

Ключевые слова: структура почвенного покрова, точное земледелие, адаптивно-ландшафтное земледелие, ресурсный потенциал земель

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-67-46017.

© Савин И.Ю., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

История статьи: поступила в редакцию 11 марта 2021 г.; принята к публикации 24 мая 2021 г.

Для цитирования: Савин И.Ю. Пространственная адаптация систем земледелия к пестроте полей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 362—369. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-362-369

The spatial adaptation of farming systems to the heterogeneity of plots

Igor Yu. Savin 

RUDN University, *Moscow, Russian Federation*
Dokuchaev Soil Science Institute, *Moscow, Russian Federation*
Belgorod State University, *Belgorod, Russian Federation*

✉ savin_iyu@esoil.ru

Abstract. The full exploitation of the resource potential of arable lands was analyzed in the research. The problem of completeness of the use in different farming systems was considered. It was found that at the current stage of development of farming systems, the diversity of soils and lands and, accordingly, their resource potential were most successfully incorporated in adaptive-landscape farming systems and precision farming systems. Undoubtedly, the cost of precision farming systems will decrease in the future due to the cheapening of technical means. But without introducing scientific and methodological justification for accounting of diversity of soils and land plots (as in adaptive-landscape farming systems) and heterogeneity of crops into precision farming systems, increasing the completeness of land resource potential cannot be achieved. Another important direction to improve the full use of the land resource potential is the development of a new scientific direction — Econics, and the development of technologies for leveling the heterogeneity of fields. But these directions are at the very beginning of their development.

Key words: soil patterns, precise agriculture, landscape-adaptive farming systems, land resource potential

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 11 March 2021. Accepted: 24 May 2021.

Acknowledgments. The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 20-67-46017.

For citation: Savin IY. The spatial adaptation of farming systems to the heterogeneity of plots. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4)362—369. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-362-369

Введение

Под системой земледелия понимают комплекс связанных друг с другом мероприятий для производства растениеводческой продукции. Причем этот комплекс должен быть направлен не только на максимизацию выхода продукции, но также и на рационализацию использования земель и производительных сил [1].

В идеале чем более полно и рационально система земледелия использует ресурсный потенциал земель, тем она более экономически эффективна и экологически безопасна.

Под ресурсным потенциалом земель понимаются потенциальные возможности их использования в том или ином качестве [2]. Он определяется свойствами (с учетом пространственного варьирования) рельефа, почв и климатических условий земельного участка или какой-либо территории. В большинстве случаев рельеф, почвы и климат земельных участков, используемых для возделывания растениеводческой продукции, пространственно неоднородны. Так, например, агрономически важные свойства почв могут изменяться в пространстве на расстоянии в метры и десятки сантиметров [3]. Практически все поля обладают микрорельефом с неоднородностями в метры и десятки метров [4, 5]. Это, наряду с другими факторами (например, близость лесополос или водных объектов), часто обуславливает присутствие на полях микроклиматических зон, пространственный размер которых также может иметь десятки метров [6].

В результате землепользователь сталкивается с ситуацией, когда на его земельных участках существует достаточно большая пестрота свойств почв, климата и рельефа (далее — пестрота полей). Теоретически, мероприятия для каждого из однородных (точнее, псевдооднородных) выделов этой пестроты в идеале должны быть разными. Только в этом случае ресурсный потенциал земельного участка будет использоваться максимально полно. Но на практике реализовать это невозможно по разным причинам.

Ретроспективный анализ и сравнение полноты использования ресурсного потенциала земель в современных системах земледелия

Во времена до возникновения почвоведения как науки землепользователи практически не имели точной информации о пространственном варьировании потенциального плодородия земель их участков и достаточных знаний о влиянии разных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому пестрота земельных участков при возделывании сельскохозяйственных культур очень редко принималась во внимание, и культура возделывалась без ее учета. Основным критерием была практика. Если на каком-то участке культура не давала урожая, то она на нем больше не возделывалась.

После земельно-оценочных работ В.В. Докучаева в конце девятнадцатого века [7] при планировании систем земледелия стали учитывать и неоднородности почвенного покрова, но в основном на уровне почвенных зон и провинций, без учета микронеоднородностей земель конкретных участков.

В начале XX в., при переходе к административно-централизованной системе хозяйствования и появлении крупной сельскохозяйственной техники в стране, неоднородности свойств земель стали учитываться более полно, но все еще не на микроуровне. В это время разрабатывались системы земледелия, ориентированные на крупные земельные участки, но по сути они оставались зональными.

Лишь со второй половины XX в. все большее внимание стали обращать на пестроту полей. Появилось учение о структуре почвенного покрова [3], а также работы по изучению микроклимата полей [8]. В результате этих исследований

было установлено, что без учета микронеоднородностей рельефа, почв и климата полностью использовать ресурсный потенциал земель не удастся.

Именно эти научные достижения во многом послужили основой для создания теории адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) [9], которая подразумевала более полный по сравнению с зональными системами, учет пестроты полей. Внедрение АЛСЗ явилось революционным шагом в повышении полноты использования ресурсного потенциала земель в сельском хозяйстве, но так и не позволило эксплуатировать его целиком.

В рамках АЛСЗ на основе информации о рельефе и почвах выделяются квазиоднородные участки, которые типизируются по тем неоднородностям, которые в них встречаются. И с учетом специфики этих неоднородностей для каждого типа участка разрабатываются рекомендации по их оптимальному использованию. При типизации участков опираются на информацию о структуре почвенного покрова [10]. Рекомендации разрабатываются под использование конкретных технических средств, которые не работают на микроуровне. Таким образом, фактически микронеоднородности полей определенным образом классифицируются и каждому классу разрабатывается свой набор рекомендаций по использованию земель. При этом учитывается практически весь набор свойств почв, который может оказывать влияние на возделывание сельскохозяйственных культур (включая свойства всего профиля почв, уровня и химического состава грунтовых вод). По полноте учета свойств почв и микрорельефа АЛСЗ не имеет конкурентов в мире. Но при этом работа в рамках АЛСЗ не ведется на уровне элементарных почвенных выделов, а на уровне их ассоциаций, т.е. структуры почвенного покрова.

Следующим шагом в направлении повышения полноты использования ресурсного потенциала земель при возделывании сельскохозяйственных культур послужили разработки в области научного обоснования систем точного земледелия [11]. Их возникновение в конце XX в. было обусловлено появлением технических возможностей точного, оперативного и дешевого определения географических координат на местности, а также созданием сельскохозяйственной техники, способной выполнять агротехнические операции по заданным координатам с точностью в несколько метров. Это позволило учитывать микронеоднородности почв на уровне элементарных почвенных ареалов, что в рамках АЛСЗ в большинстве случаев не делается.

Но практика показала, что внедрение систем точного земледелия также не позволяет полностью эксплуатировать ресурсный потенциал земель. Связано это со следующим.

В рамках систем точного земледелия в большинстве случаев речь идет лишь о точном внесении удобрений (реже о точном орошении). В офлайн системах перед внесением удобрений оценивается содержание питательных веществ в почвах традиционными способами или на основе дистанционной оценки состояния посевов. По полученным данным в ГИС составляется карта потребности во внесении удобрений. Эта карта подгружается в бортовой компьютер сельхозтехники, и удобрения вносятся локально на основе этой карты. В онлайн системах точного

земледелия речь идет лишь о том, что с использованием дистанционных датчиков, определяющих состояние посевов, определяются участки, где состояние хуже, чем должно быть в конкретную фазу развития растений, и сразу же на эти участки вносятся дополнительные удобрения. Аналогично работают системы и при регулировании орошения.

Таким образом, в системах точного земледелия речь идет лишь о регулировании отдельных свойств почв. В большинстве случаев о содержании доступного азота и о содержании влаги в почвах. Поэтому основные датчики, используемые в системах точного земледелия, — это N-тестеры, функционирующие на анализе светоотражения посевов, а также датчики, измеряющие электропроводность пахотного горизонта почв [12]. Экспериментально используются также датчики плотности пахотного горизонта почв [13].

Следовательно, в системах точного земледелия упор сделан не на учет пестроты почв рабочих участков и адаптации к ним, а на попытки выровнять эту пестроту, полностью удалить ее влияние. Причем иногда для этого прибегают даже к полной планировке участков с целью удаления микрорельефа¹. Но таким образом нельзя удалить пестроту почвенного покрова, можно лишь еще больше ее контрастировать.

В отдельных случаях декларируются планы при накоплении многолетних данных при использовании систем точного земледелия обобщить их и выделить зоны на полях, где неоднородности рельефа, почв и микроклимата влияют всегда, чтобы впоследствии учитывать присутствие подобных зон на постоянной основе [14]. Но эту идею вряд ли можно считать выполнимой на практике. Неоднородности посевов могут быть обусловлены очень многими факторами, которые по-разному влияют для разных культур в разные фазы развития в разных метеорологических условиях на разном почвенном фоне. Попытки накопления подобных данных в течение длительного времени приведут к тому, что за это время уже произойдет смена сортов возделываемых культур и севооборотов и ранее накопленные данные станут неприменимы к этим новым сортам и севооборотам. В результате поставленная задача окажется невыполнимой.

Таким образом, если в АЛСЗ учитывается весь набор свойств почв и земель, предопределяющих рост растений и их возделывание, то в системах точного земледелия учитываются лишь некоторые из них. АЛСЗ опираются на весь багаж накопленных знаний в области почвоведения и земледелия, в то время как системы точного земледелия этот научный опыт практически не принимают во внимание. Адаптация к ландшафтным условиям в системах точного земледелия отсутствует, так как опора делается на анализ тех пространственных неоднородностей, которые проявляются по ходу конкретного вегетационного сезона.

АЛСЗ и системы точного земледелия отличаются также ориентацией на определенный масштаб. Если АЛСЗ оптимальны для внедрения на относительно больших площадях (порядка нескольких тысяч гектар), то для систем точного земледелия оптимальными для внедрения являются отдельные поля. Соответственно,

¹ Даренских С. Планировка полей с системой Trimble Field Level II // ГлавПахарь. Режим доступа: <https://glavpahar.ru/articles/planirovka-poley-s-sistemoy-trimble-field-level-ii>

сельскохозяйственная техника для АЛСЗ не предназначена для учета локальных внутривидовых неоднородностей, а техника для систем точного земледелия, наоборот, наиболее эффективна для их учета. Одновременно она гораздо дороже, и эти вложения часто значительно превышают получаемые преимущества учета неоднородностей отдельных полей на многие годы вперед.

Выводы

Следовательно, на современном этапе развития систем земледелия пестроты почв и земель и, соответственно, их ресурсный потенциал, наиболее полно учитываются в АЛСЗ и системах точного земледелия. В будущем, без сомнения, стоимость внедрения систем точного земледелия будет уменьшаться за счет удешевления технических средств. Но без внедрения в идеологию систем точного земледелия научно-методического обоснования учета пестроты почв и земель участков (как это делается в АЛСЗ), а не только неоднородностей самих посевов, повышение полноты использования ресурсного потенциала земель вряд ли может быть достигнуто.

Другим важным направлением повышения полноты использования ресурсного потенциала земель является развитие нового научного направления — эконики, в рамках которого планируется создание новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, которые могут быть адаптированы к отдельным пространственным компонентам пестроты полей (локально лимитирующим рост сельскохозяйственных растений).

Также теоретически можно рассуждать о полной нивелировке пестроты полей. Кроме выравнивания микрорельефа могут быть выравнены и агрономически значимые свойства почв путем создания на больших площадях искусственных плодородных грунтов, как это делается, например, в настоящее время в теплицах и на отдельных дачных участках населения. Но подобные изменения вряд ли можно ожидать на больших территориях в ближайшие десятилетия.

Библиографический список

1. *Афанасьев Р.А.* Системы земледелия // Большая российская энциклопедия. Т. 30. М., 2015. С. 302—303.
2. *Савин И.Ю.* Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий: автореф. дисс. ... д-ра сельскохозяйственных наук. М.: Почвенный институт, 2004. 47 с.
3. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 235 с.
4. *Eltner A., Maasa H.-G., Faus D.* Soil micro-topography change detection at hillslopes in fragile Mediterranean landscapes // *Geoderma*. 2018. Vol. 313. Pp. 217—232. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.034
5. *Минаев Н.В., Никитин А.А., Козлов Д.Н.* Идентификация масштабных уровней организации рельефа пашни // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 96. С. 3—21. doi: 10.19047/0136-1694-2019-96-3-21
6. *Gillingham P.* The relative importance of microclimate and land use to biodiversity. University of York, Department of Biology, September, 2010. 168 p.
7. *Докучаев В.В., Никитин С.Н., Костычев П.А.* Обсуждение вопроса об организации почвенного исследования в России. СПб.: тип. А. Якобсона, 1887. 53 с.

8. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 280 с.
9. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. М., 1993. 64 с.
10. Кауричев И.С., Романова Т.А., Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова и типизация земель. М., 1992. 152 с.
11. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
12. Sophocleous M., Georgiou J. Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring // 2017 IEEE Biomed. Circuits Syst. Conf. 2017. Pp. 1—4. doi: 10.1109/BIOCAS.2017.8325180
13. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Гольтяпин В.Я., Голубев И.Г. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 316 с.
14. Рухович А.Д., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Петухов Д.А., Рухович Д.И. Сравнительный анализ информативности вегетационных индексов и измерений урожайности сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия // XIX Междунар. науч.-междисциплинар. конф. SGEM Geo & Экспо 2019 (28 июня — 7 июля). Болгария, Албена: SGEM Organizing Team, 2019. С. 501—508.

References

1. Afanasyev RA. Farming systems. In: *Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya*. Т. 30. Moscow; 2015. p.302—303. (In Russ.).
2. Savin IY. *Analiz pochvennykh resursov na osnove geoinformatsionnykh tekhnologii* [Analysis of soil resources based on geoinformation technologies] [Dissertation]. Moscow; 2004. (In Russ.).
3. Fridland VM. *Struktura pochvennogo pokrova mira* [Structure of soil cover of the world]. Moscow: Mysl publ.; 1984. (In Russ.).
4. Eltnera A, Maasa HG, Faus D. Soil micro-topography change detection at hillslopes in fragile Mediterranean landscapes. *Geoderma*. 2018; 313:217—232. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.034
5. Minaev NV, Nikitin AA, Kozlov DN. The scale levels identification for the plowland topography organization. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2019;(96):3—21. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-3-21>
6. Gillingham P. *The relative importance of microclimate and land use to biodiversity* [Dissertation]. University of York; 2010.
7. Dokuchaev VV, Nikitin SN, Kostychev PA. *Obsuzhdenie voprosa ob organizatsii pochvennogo issledovaniya v Rossii* [Discussion of the issue of organizing soil research in Russia]. Saint Petersburg: Yakobson publ.; 1887. (In Russ.).
8. Romanova EN. *Mikroklimaticheskaya izmenchivost' osnovnykh elementov klimata* [Microclimatic variability of the main elements of the climate]. Leningrad: Gidrometeoizdat publ.; 1977. (In Russ.).
9. Kiryushin VI. *Kontsepsiya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya* [The concept of adaptive landscape farming]. Moscow; 1993. (In Russ.).
10. Kaurichev IS, Romanova TA, Sorokina NP. *Struktura pochvennogo pokrova i ti-pizatsiya zemel'* [Soil cover structure and land typification]. Moskva; 1992. (In Russ.).
11. Yakushev VV. *Tochnoe zemledelie: teoriya i praktika* [Precision farming: theory and practice]. Saint Petersburg: FGBNU AFI publ.; 2016. (In Russ.).
12. Sophocleous M, Georgiou J. Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring. In: *2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*. 2017. p.1—4. doi: <https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2017.8325180>
13. Fedorenko VF, Mishurov NP, Buklagin DS, Golytshin VY, Golubev IG. *Tsifrovoe sel'skoe khozyaistvo: sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Digital agriculture: state and development prospects]. Moscow: Rosinformagrotekh publ.; 2019. (In Russ.).
14. Rukhovich AD, Vilchevskaya EV, Kalinina NV, Petukhov DA, Rukhovich DI. Comparative analysis of the information content of vegetation indices and measurements of crop yields in the system of precision agriculture. In: *SGEM Geo & Ekspo 2019 conference proceedings*. Bulgaria, Albena: SGEM Organizing Team publ.; 2019. p.501—508. (In Russ.).

Об авторе:

Савин Игорь Юрьевич — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор, Экологический факультет, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; заместитель директора ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Российская Федерация, 109017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2; профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85; e-mail: savin_iyu@esoil.ru
ORCID 0000-0002-8739-5441
SPIN-код: 5132-0631

About the author:

Savin Igor Yurievich — Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Faculty of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia, Russian Federation, 8 Miklukho-Maklaya st. Moscow, 117198, Russian Federation; Deputy Director, Federal Research Center — Dokuchaev Soil Science Institute, 7/2 Pyzhevsky line, Moscow, 109017, Russian Federation; Professor, Belgorod State University, 85 Pobedy st., Belgorod, 308015, Russian Federation; e-mail: sav-in_iyu@esoil.ru
ORCID 0000-0002-8739-5441
SPIN: 5132-0631

Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-370-388

УДК 631.82:549.6: 504.062.4

Научная статья / Research article

Модифицированные материалы на основе слоистых силикатов как мелиоранты для ремедиации подзола техногенной пустоши

Т.К. Иванова¹ , М.В. Слуковская^{1,2}  , И.А. Мосендз¹ ,
Е.А. Красавцева¹ , В.В. Максимова¹ , И.П. Канарейкина² ,
А.А. Широкая¹ , И.П. Кременецкая¹ 

¹Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 m.slukovskaya@ksc.ru

Аннотация. Слоистые силикаты, такие как серпентин и вермикулит, обладают свойствами, позволяющими использовать материалы на их основе в качестве компонентов природоохранных технологий. Исследована возможность ремедиации почвы техногенно загрязненной территории, образовавшейся вследствие длительного воздействия выбросов медно-никелевого производства (г. Мончегорск, Мурманская обл.). В качестве мелиорантов использовались термовермикулит и отработанный сорбент на основе гранулированного серпентина, который является отходом после использования в технологии очистки высококонцентрированных растворов от металлов. Данные материалы обладают высокой сорбционной активностью в отношении ряда металлов, развитой удельной поверхностью, способностью удерживать влагу и доступны в количествах, достаточных для проведения работ по ремедиации больших по площади территорий. Проведено исследование физико-химических свойств техногенно загрязненной почвы и мелиорантов, контактное фитотестирование подзола с добавлением термовермикулита и отработанного сорбента (тест-культуры — овес посевной *Avena sativa* L. и клевер луговой *Trifolium pratense* L.). Результаты исследования показали, что предложенные материалы являются эффективными добавками для повышения pH кислой почвы, сорбции и осаждения Al и потенциально токсичных металлов — Cu,

© Иванова Т.К., Слуковская М.В., Мосендз И.А., Красавцева Е.А., Максимова В.В., Канарейкина И.П., Широкая А.А., Кременецкая И.П., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Ni, Pb, Fe, а также для улучшения гидрофизических и агрохимических характеристик почвы. Отмечен положительный отклик тест-культур на внесение мелиорантов в техногенно загрязненную почву.

Ключевые слова: термовермикулит, серпентин, потенциально токсичные металлы, сорбция, основная гидрофизическая характеристика, фитотестирование

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено при поддержке фонда Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (грант № МК-2697.2021.1.5). Получение отработанного сорбента выполнено в рамках Госзадания КНЦ РАН № 0226-2019-0011.

История статьи: поступила в редакцию 1 ноября 2021 г., принята к публикации 16 ноября 2021 г.

Для цитирования: Иванова Т.К., Слуковская М.В., Мосендз И.А., Красавцева Е.А., Максимова В.В., Канарейкина И.П., Широкая А.А., Кременецкая И.П. Модифицированные материалы на основе слоистых силикатов как мелиоранты для ремедиации подзола техногенной пустоши // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 370—388. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-370-388

Modified materials based on layered minerals as ameliorants for the remediation of podzol in the industrial barren

Tatiana K. Ivanova¹ , Marina V. Slukovskaya^{1,2}  , Irina A. Mosendz¹ ,
Evgeniya A. Krasavtseva¹ , Victoria V. Maksimova¹ ,
Inna P. Kanareykina² , Anna A. Shirokaya¹ , Irina P. Kremenetskaya¹ 

¹Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, *Apatity, Russian Federation*

²RUDN University, *Moscow, Russian Federation*

 m.slukovskaya@ksc.ru

Abstract. Layered silicates, such as serpentine and vermiculite, have properties that make it possible to use materials based on them as components of environmental technologies. The possibility of soil remediation in industrially contaminated area, formed due to the long-term exposure to emissions from copper-nickel production (Monchegorsk, Murmansk region), was studied. Two materials were used as ameliorants in our study: expanded vermiculite and granular serpentine sorbent, a waste after using the purification technology of highly concentrated solutions from metals. These materials have a high sorption activity to several metals, a high specific surface area, the ability to retain moisture, and are available in quantities sufficient to work on the remediation of large areas. A study of the physicochemical properties of industrially polluted soil and ameliorants, direct phytotoxicity testing of podzol and its mixtures with expanded vermiculite and the serpentine sorbent (test plants — common oat *Avena sativa* L. and red clover *Trifolium pratense* L.) were carried out. The study results showed that the proposed materials were effective additives for increasing the pH of acidic soil, sorption and precipitation of Al and potentially toxic metals — Cu, Ni, Pb, Fe, and improving the soil hydrophysical and agrochemical characteristics. A positive response of test plants to the introduction of ameliorants into industrially contaminated soil was noted.

Key words: expanded vermiculite, serpentine, potentially toxic metals, sorption, water retention curve, phytotoxicity test

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Federation President's Foundation for State Support of Young Russian Scientists (Grant No. МК-2697.2021.1.5). The waste sorbent was obtained within the framework of the State Assignment of Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences No. 0226-2019-0011.

Article history: Received: 1 November 2021. Accepted: 16 November 2021.

For citation: Ivanova TK, Slukovskaya MV, Mosendz IA, Krasavtseva EA, Maksimova VV, Kanareykina IP, Shirokaya AA, Kremenetskaya IP. Modified materials based on layered minerals as ameliorants for the remediation of podzol in the industrial barren. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):370–388. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-370-388

Введение

Проблема деградации почв и образования техногенных ландшафтов имеет глобальный характер, что находит отражение в многочисленных работах по разработке подходов к рекультивации и ремедиации почв и техногенных поверхностных образований [1—3].

Территория техногенной пустоши вблизи г. Мончегорск (Кольский полуостров), образовавшаяся вследствие атмосферных выбросов медно-никелевого комбината, функционирующего с 1938 г., является одной из наиболее загрязненных территорий на Европейском Севере России [4]. Ее площадь в настоящее время составляет около 200 га, и запуск почвообразовательного процесса в обозримом будущем без вмешательства человека здесь практически невозможен [5].

Техногенная пустошь — экстремальная среда обитания, образовавшаяся вследствие атмосферных эмиссий и депонирования загрязняющих веществ предприятий цветной металлургии в наземных экосистемах [6—8]. Чрезвычайно высокие концентрации соединений потенциально токсичных металлов (ПТМ) в почве вызвали деградацию растительности, что привело к развитию водной и ветровой эрозии, а также истощению органического углерода в почвах [9, 10].

Глинистые минералы с большой удельной поверхностью и особой структурой кристаллического слоя позволяют иммобилизовать потенциально токсичные металлы путем адсорбции, координации и соосаждения [11, 12]. Глинистые минералы могут применяться в качестве сорбентов ПТМ и других загрязняющих веществ при восстановлении почвы, воды и других природных объектов [13, 14]. Вермикулит — минерал слоистого строения с разнообразными свойствами, одним из которых является способность вспучиваться и увеличиваться в объеме в 20...30 раз при нагревании [15]. Это вторичный минерал группы гидрослюд, являющийся пластинчатым материалом золотистого цвета. Химическая формула вермикулита — $Mg_{0,5}(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_{24} \times H_2O$. Вермикулит характеризуется высокими значениями ЕКО (емкости катионного обмена) и развитой поверхностью, которая увеличивается при термообработке. Помимо улучшения физико-химических параметров произрастания растений, термовермикулит способствует детоксикации

почвенных растворов в результате проявления им ионообменных и сорбционных свойств [16—18].

Минералы серпентиновой группы, особенно термически активированные, обладают высокими кислотонейтрализующими и сорбционными свойствами по отношению к ПТМ и могут применяться для очистки водных и почвенных объектов [19—22]. Кроме того, серпентин имеет относительно высокую удельную поверхность, пористость, запас макроэлементов и другие благоприятные свойства, а также имеется в большом количестве в виде вскрышных пород различных месторождений.

Проведены работы по термоактивации, последующему гранулированию серпентинсодержащих материалов и их использованию для очистки высококонцентрированных растворов ПТМ и АІ [18, 23—25]. Отработанный сорбент является нетоксичным сорбционно-активным материалом и, в отличие от исходного материала, не обладает избыточной щелочностью, что позволяет использовать его для ремедиации техногенно загрязненного подзола.

Цель исследования — определить физико-химические характеристики почвосмесей, состоящих из термовермикулита, отработанного серпентинового сорбента и почвы с высоким содержанием металлов, и выявить оптимальные соотношения между почвой и мелиорантами для проведения работ по фиторемедиации.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования — смеси, состоящие из деградированного подзола Р, термовермикулита V и отработанного серпентинового сорбента S в разных соотношениях (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид объектов исследования: а — общий вид; б — отработанный серпентиновый сорбент; в — термовермикулит (фр. 0,45...2,00 мм); г — подзол (фр. < 2,0 мм)

Fig. 1. Appearance of the research objects: а — general view; б — waste serpentine sorbent; в — expanded vermiculite (fr. 0.45...2.00 mm); г — podzol (fr. < 2.0 mm)

Деградированный подзол (абразем) техногенной пустоши имел следующие характеристики: кислотность водной вытяжки почвы — 4,2...4,8, содержание органического углерода — 1,3 %, из которого содержание углерода гуминовых кислот — 0,35 %; содержание общего азота — 0,07 %, из которого 2,5...4,0 мг/кг — нитратного азота, и 0,8 мг/кг — аммонийного азота.

Термовермикулит крупностью 1–2 мм был получен из вермикулитового концентрата Ковдорского месторождения путем обжига при 500...550 °С на электрической модульно-спусковой печи конструкции Нижегородова. В печи реализован механизм термоудара как наиболее эффективный способ получения термовермикулита [26]. Образец исходного материала представляет собой типичную для Ковдорского месторождения разновидность вермикулита с заметной примесью флогопита. Химический состав вермикулита (мас.%): SiO₂ (30,9), MgO (27,0), Al₂O₃ (9,6), Fe₂O₃ (5,3), CaO (4,0), Na₂O (3,3), K₂O (0,9), С (0,5), H₂O (7,7). Твердость минерала составляла 2,1...2,8, плотность — 2,5 г/см³, рН — 7,0, обменная емкость — 80...150 мг-экв/100 г [27].

Отработанный сорбент был получен из магнезиально-силикатного реагента на основе серпентинито-магнезита Халиловского месторождения магнезита, Оренбургская обл. Основной компонент исходного материала — ортохризотил, в качестве примеси содержится магнезит. Химический состав исходного серпентинита (мас.%): SiO₂ (37,0), MgO (42,0), Fe₃O₄ (8,0), CaO (0,6), Al₂O₃ (0,2), NiO (0,08), Cr₂O₃ (0,04), H₂O (12,7).

Для получения сорбента серпентинито-магнезит измельчали до крупности менее 0,08 мм и прокаливали в лабораторной электрической вращающейся печи при температуре 650...700 °С. Порошок гранулировали с использованием турболопастного смесителя-гранулятора типа ТЛ 020. Процесс гранулирования и свойства гранул описаны в [23, 28]. Усредненный химический состав гранул сорбента (мас.%): SiO₂ (35,0...40,0), MgO (29,0...35,0), Al₂O₃ (0,9...1,8), Fe₂O₃ (9,0...13,0), CaO (0,6...0,8), NiO (0,4...0,5), S (0,2...0,3), H₂O (14,6...19,8). Полученные гранулы применяли для очистки концентрированных кислых растворов от ионов цветных металлов и железа. Процесс осаждения металлов из раствора описан в [24].

Схема эксперимента. Исследовано несколько вариантов почвосмесей с разным массовым соотношением отработанного гранулированного серпентинового сорбента, термовермикулита и подзола. Состав почвосмесей приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав почвосмесей, мас.%

Почвосмесь	S: M*(V: P)	S	V	P
VP-1	(1:1)	–	50	50
VP-2	(1:2)	–	33	67
VP-3	(1:4)	–	25	75
VSP-1	1:3(1:1)	25	37,5	37,5
VSP-2	1:3(1:2)	25	25	50
VSP-3	1:3(1:4)	25	15	60

Окончание табл. 1

Почвосмесь	S: M*(V: P)	S	V	P
VSP-4	1:4(1:1)	20	40	40
VSP-5	1:4(1:2)	20	26	54
VSP-6	1:4(1:4)	20	16	64
VSP-7	1:5(1:1)	16	42	42
VSP-8	1:5(1:2)	16	28	56
VSP-9	1:5(1:4)	16	16,8	67,2

*M – смесь V и P.

Table 1

Composition of soil mixtures, weight,%

Soil mixture	S: M*(V: P)	S	V	P
VP-1	(1:1)	–	50	50
VP-2	(1:2)	–	33	67
VP-3	(1:4)	–	25	75
VSP-1	1:3(1:1)	25	37.5	37.5
VSP-2	1:3(1:2)	25	25	50
VSP-3	1:3(1:4)	25	15	60
VSP-4	1:4(1:1)	20	40	40
VSP-5	1:4(1:2)	20	26	54
VSP-6	1:4(1:4)	20	16	64
VSP-7	1:5(1:1)	16	42	42
VSP-8	1:5(1:2)	16	28	56
VSP-9	1:5(1:4)	16	16.8	67.2

*M – V and P mixtures.

Методы исследования. Насыпную плотность материалов определяли согласно методике, описанной в ГОСТ 19440-94 [29]. Максимальную влагоудерживающую способность определяли согласно ГОСТ 32632-2014 [30]. Гранулометрический анализ подзола выполнен методом ситового анализа для частиц фр. > 2 мм и на анализаторе частиц серии LS13320 (Backman Coulter) методом лазерной дифрактометрии в сочетании с технологией PIDS (регистрация дифференциальной интенсивности поляризованного света) для частиц фр. < 2 мм.

Для определения pH навески почвы и почвосмесей в количестве 5 г помещали в 50 мл дистиллированной воды и проводили измерения pH суспензий через 1 ч, 24 ч, 3 сут и 7 сут с помощью анализатора жидкости pH-метра-иономера «Эксперт-001» со стеклянным лабораторным электродом ЭСЛ-63-07СР и электродом вспомогательным лабораторным хлорсеребряным ЭВЛ-1МЗ.1. Через 7 сут взаимодействия суспензию фильтровали, а в полученном растворе определяли содержание химических элементов.

Фракционный состав тяжелых металлов в подзоле определяли с помощью методов последовательного фракционирования тяжелых металлов с выделением водорастворимой, подвижной, связанной органическим веществом, связанной с гидроксидами Fe и Mn, экстрагируемой концентрированной азотной кислотой (условно-валовой) и валовой (полное разложение) фракций [31—33].

Растворы анализировали на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2А» фирмы «Кортек» и на приборе AAnalyst 400.

Методика проведения фитотестирования. Фитотестирование проводили по стандартному протоколу (ISO 11269-2, 2012). Для фитотестирования использовались тест-культуры — овес обыкновенный (*Avena sativa* L.) и клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). Тест-параметры — длина и масса надземных органов растений. Эксперименты проводились в трех повторностях, результаты обрабатывались статистически ($p < 0,95$).

Результаты исследования и обсуждения

Характеристика подзола. Минеральный состав подзола представлен (в порядке уменьшения содержания) кварцем, полевым шпатом, вермикулитом, глаукофаном и гранатом [34]. Плотность составила 1,2 г/см³, пористость — 54,6 %, коэффициент пористости — 1,2, максимальная водоудерживающая способность — 134 %.

Преобладающими в гранулометрическом составе подзола являлись фракции 0,1...0,5 мм, 0,002...0,05 мм, 0,5...1 и >10 мм (рис. 2).

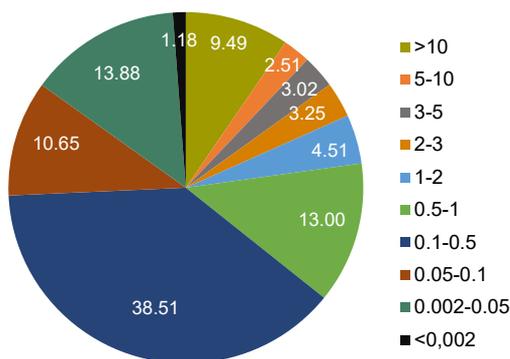


Рис. 2. Гранулометрический состав подзола

Fig. 2. Granulometric composition of podzol

Оценка гранулометрического состава согласно классификации Н.А. Качинского показала, что в подзоле преобладает средний песок (38,5 %), а также содержатся гравий (22,8 %), средняя и крупная пыль (13,9 %) и крупный песок (13 %), что соответствовало классу рыхлого песка с долей частиц фр. < 0,01 мм — 4 %.

Поскольку почва кислая (рН 4,2...4,8), она имела высокое содержание основных потенциально токсичных элементов (Cu, Ni, Al, Fe, Pb) в подвижной форме (рис. 3).

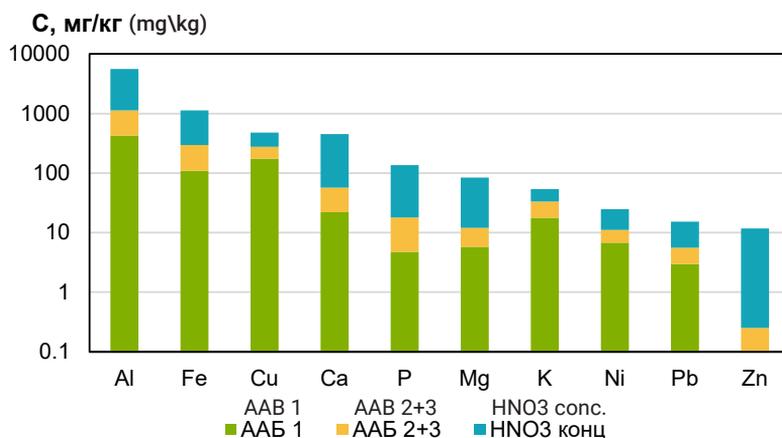


Рис. 3. Фракционный состав микро- и макрокомпонентов в техногенно загрязненном подзоле
Fig. 3. Fractional composition of micro- and macrocomponents in industrially polluted podzol

Доля содержания элементов в подвижной фракции после трехкратной экстракции ААБ (актуально подвижная фракция) относительно содержания элементов после многоступенчатой экстракции ААБ и HNO_3 конц. для потенциально токсичных металлов (ПТМ) составила (%): Cu (58,1), Ni (44,7), Pb (36,4), Fe (26,5), Al (20,2). Доля водорастворимой фракции ПТМ и элементов питания (%): Cu (2,3), Ni (12,5), Pb (0,3), Fe (0,6), Al (0,1), K (16,7), Mg (21,0), Ca (13,9), P (1,0).

Актуальная кислотность почвосмесей. Кислотонейтрализующая способность отработанного сорбента на основе серпентина составляла 7,04...9,02 мг-экв/г. Значения pH растворов после взаимодействия сорбента с дистиллированной водой составляли: 9,7...10,1 через 1 ч, 9,4...9,9 через 1 сутки; 9,4...9,7 через 7 суток.

Результаты по изменению pH почвосмесей в зависимости от количества добавленных в подзолистую почву вермикулита и отработанного сорбента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение значения pH почвосмесей в зависимости от количества добавленных термовермикулита и отработанного сорбента

Длительность взаимодействия	VP			VSP								
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 ч	5,47	5,13	4,71	7,29	7,04	6,78	6,86	6,74	6,56	6,32	6,26	6,00
1 сут	6,62	5,99	5,51	8,53	8,49	8,45	8,19	8,33	8,26	7,71	7,27	7,34
3 сут	7,2	6,94	5,73	8,68	8,52	8,77	8,52	8,37	7,99	8,46	8,06	8,04
7 сут	7,27	6,94	5,54	8,83	8,78	8,65	8,77	8,6	8,37	8,43	8,38	8,07

Change in the pH value of soil mixtures depending on the amount of added expanded vermiculite and waste sorbent

Duration of interaction	VP			VSP								
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 hour	5.47	5.13	4.71	7.29	7.04	6.78	6.86	6.74	6.56	6.32	6.26	6.00
1 day	6.62	5.99	5.51	8.53	8.49	8.45	8.19	8.33	8.26	7.71	7.27	7.34
3 days	7.2	6.94	5.73	8.68	8.52	8.77	8.52	8.37	7.99	8.46	8.06	8.04
7 days	7.27	6.94	5.54	8.83	8.78	8.65	8.77	8.6	8.37	8.43	8.38	8.07

Значение рН водной вытяжки исходной почвы составляло 4,65. Внесение рассматриваемых мелиорантов в подзол способствовало значительному снижению уровня кислотности почвы. При увеличении доли термовермикулита в смеси с подзолом значения рН суспензий через час взаимодействия увеличились до 4,71 в варианте 1:3 и до 5,47 в варианте 1:1. Увеличение продолжительности взаимодействия компонентов почвосмеси до семи суток привело к дальнейшему увеличению рН до 5,54 (1:3) и 7,27 (1:1). Значения рН почвосмесей с отработанным гранулированным сорбентом и термовермикулитом были пропорциональны количеству вносимого сорбента и продолжительности взаимодействия и составляли 8,04...8,86.

Для дальнейших экспериментов и химического анализа были выбраны варианты смесей с разным соотношением компонентов. На рис. 2 приведены результаты анализа водных растворов смесей подзола и термовермикулита после достижения химического равновесия. Содержание Ca, Mg и K для смесей VP-1 и VP-2 было близким, тогда как уменьшение доли термовермикулита в смеси до 25 % приводило к снижению содержания данных макроэлементов в 1,14 раза для калия и 1,4...1,5 раз — для кальция и магния.

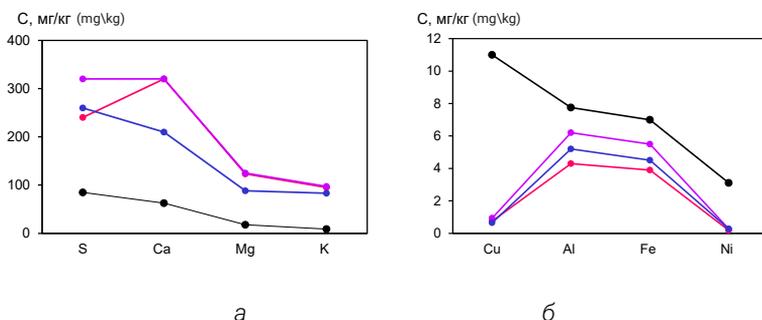


Рис. 4. Концентрация питательных (а) и потенциально токсичных (б) элементов в водных растворах выщелачивания смесей подзола с термовермикулитом:

— V: P 1:1; — V: P 1:2; — V: P 1:4; — P

Fig. 4. Concentration of nutrient (a) and potentially toxic (б) elements in aqueous solutions of leaching of podzol and expanded vermiculite mixtures:

— V: P 1:1; — V: P 1:2; — V: P 1:4; — P

Добавление вермикулита снизило содержание водорастворимой фракции ПТМ: меди в 14,4 раз, а никеля — в 1,5 раза. Данный процесс можно объяснить сорбцией за счет ионного обмена для никеля и физической сорбцией для меди [21]. Для данных систем также наблюдалось уменьшение содержания водорастворимой фракции Al и Fe в 1,5 раза, при этом четкой закономерности от доли термовермикулита в смеси выявлено не было.

Добавление отработанного сорбента привело к дальнейшему снижению содержания водорастворимых Al и Fe (рис. 5).

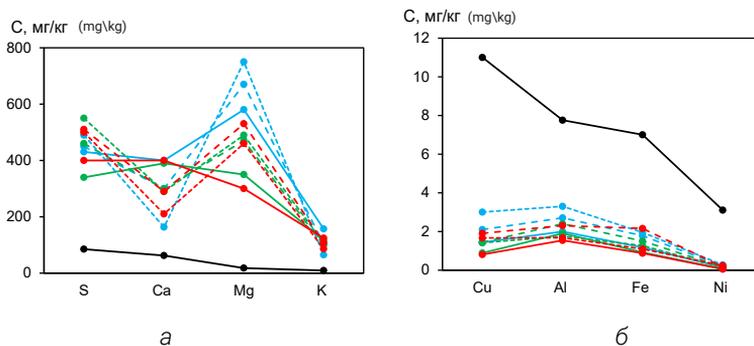


Рис. 5. Концентрации питательных (а) и потенциально токсичных (б) элементов в водных растворах выщелачивания смесей подзола P с термовермикулитом V и отработанным серпентиновым сорбентом S: — V: P 1:1; - - - - V: P 1:2; V: P 1:3; — S:(V: P) 1:3; — S:(V: P) 1:4; — S:(V: P) 1:5

Fig. 5. Concentrations of nutrient (a) and potentially toxic (б) elements in aqueous leaching solutions of podzol P and expanded vermiculite V mixtures and waste serpentine sorbent S: — V: P 1:1; - - - - V: P 1:2; V: P 1:3; — S:(V: P) 1:3; — S:(V: P) 1:4; — S:(V: P) 1:5

При внесении отработанного сорбента в почвосмесь происходила нейтрализация кислотности почвы, сопровождающаяся осаждением Al и Fe в виде труднорастворимых соединений [24]. Кроме того, добавление сорбента увеличивало концентрацию водорастворимой фракции S, Ca, Mg и K (см. рис. 5, а). Например, при максимальной доле сорбента в смеси, концентрация водорастворимого магния была в 33...42 раза больше, чем в подзоле. Следует отметить, что содержание магния было обратно пропорционально доле термовермикулита в данных системах, что может быть связано с катионным обменом магния на Al^{3+} , Fe^{3+} и Ca^{2+} в межслоевом пространстве [35]. Это подтверждается увеличением содержания водорастворимого кальция по мере увеличения термовермикулита в смеси, которое составляло 163, 300 и 400 мг/кг для V: P (1:4), (1:2) и (1:1) соответственно. Концентрации водорастворимой фракции (мг/кг) P (<1,4), Mn (<0,73) и Si (<0,11) не изменялись при внесении сорбентов.

Влагоудерживающая способность смесей с отработанным серпентиновым сорбентом. Влагоудерживающая способность подзола составляла 134, термовермикулита — 270, отработанного сорбента — 117 %. Основная гидрофизическая характеристика, исследованная методом равновесного центрифугирования, была

определена для исходных термовермикулита и подзола и четырех контрастных вариантов почвосмесей: VSP-1 (1:3)(1:1) — смесь с минимальной долей подзола, VSP-9 (1:5)(1:4) — смесь с максимальной долей подзола, а также VSP-2 (1:3)(1:2) и VSP-4 (1:4)(1:1) — смеси, отличающиеся от предыдущих по доле термовермикулита и сорбента (рис. 6).

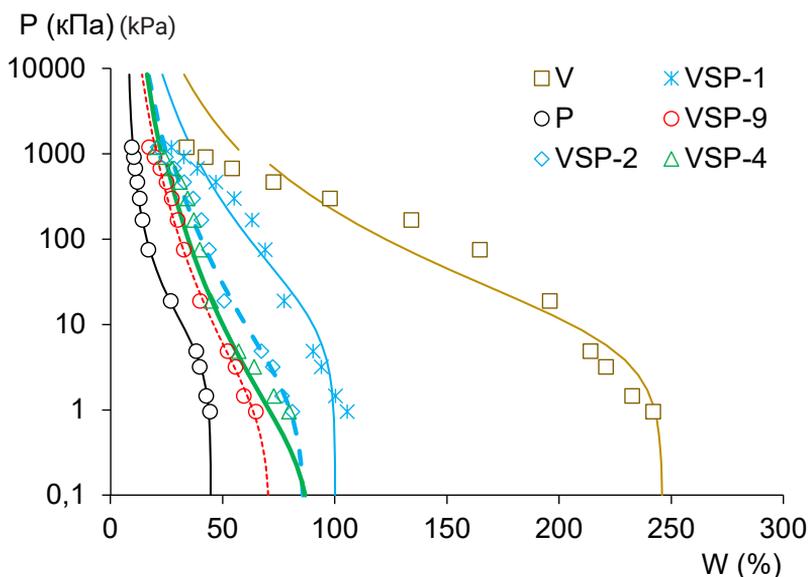


Рис. 6. Кривые основной гидрофизической характеристики подзола P, термовермикулита V и почвосмесей на их основе с добавлением отработанного серпентинового сорбента VSP-1 1:3(1:1), VSP-2 1:3(1:2), VSP-4 1:4(1:1) VSP-9 1:5(1:4)

Fig. 6. Water retention curves of podzol P, expanded vermiculite V and soil mixtures based on them with the addition of waste serpentine sorbent VSP-1 1:3(1:1), VSP-2 1:3(1:2), VSP-4 1:4(1:1) VSP-9 1:5(1:4)

Наибольшей влагоудерживающей способностью обладал термовермикулит. Следует отметить неполное совпадение модельной кривой, рассчитанной по уравнению Ван Генухтена, с эмпирическими значениями. Большая влажность в области интенсивного массопереноса влаги (пленочно-капиллярной и капиллярной областях) по сравнению с модельной кривой связана с развитой удельной поверхностью и макропористостью вспученного вермикулита [36]. Отклонение эмпирических значений относительно модели в меньшую сторону в сорбционной области может быть объяснено гидратацией термовермикулита и как следствие — затрудненным выходом молекул воды из его структуры [37].

Кривая для VSP-1, содержащая 37,5 % термовермикулита, смещена вправо относительно VSP-2 с долей вермикулита 25 %. Взаимное расположение эмпирических значений влажности и модельной кривой для VSP-1 схоже с термовермикулитом V, тогда как уменьшение доли вермикулита в системе (VSP-2, VSP-9) приводило к наложению эмпирических данных на модельные кривые.

Влагоудерживающая способность серпентинового сорбента составляла 117 % и была ниже, чем у подзола (134 %). Однако, увеличение доли серпентинового сорбента на 5 % в VSP-1 по сравнению с VSP-4 (при равном соотношении термовермикулита и подзола) приводило к улучшению водопоглощения на 20 %. Это можно объяснить тем, что при увеличении доли сорбента увеличивалось содержание водорастворимого Mg в системе, вследствие чего происходила модификация и гидратация термовермикулита, находящегося в водной среде с избытком Mg, а именно встраивание ионов Mg^{2+} в межслоевые пространства путем катионного обмена. При этом содержание связанной воды в термовермикулите увеличивалось вследствие дополнительной гидратации Mg^{2+} [35].

Фитотестирование. Появление первых всходов для обеих тест-культур зафиксировано на третий день во всех вариантах эксперимента. Морфометрические показатели (высота и биомасса надземных органов) растений во всех вариантах почвосмесей были выше, чем в контроле (подзол) (рис. 7).

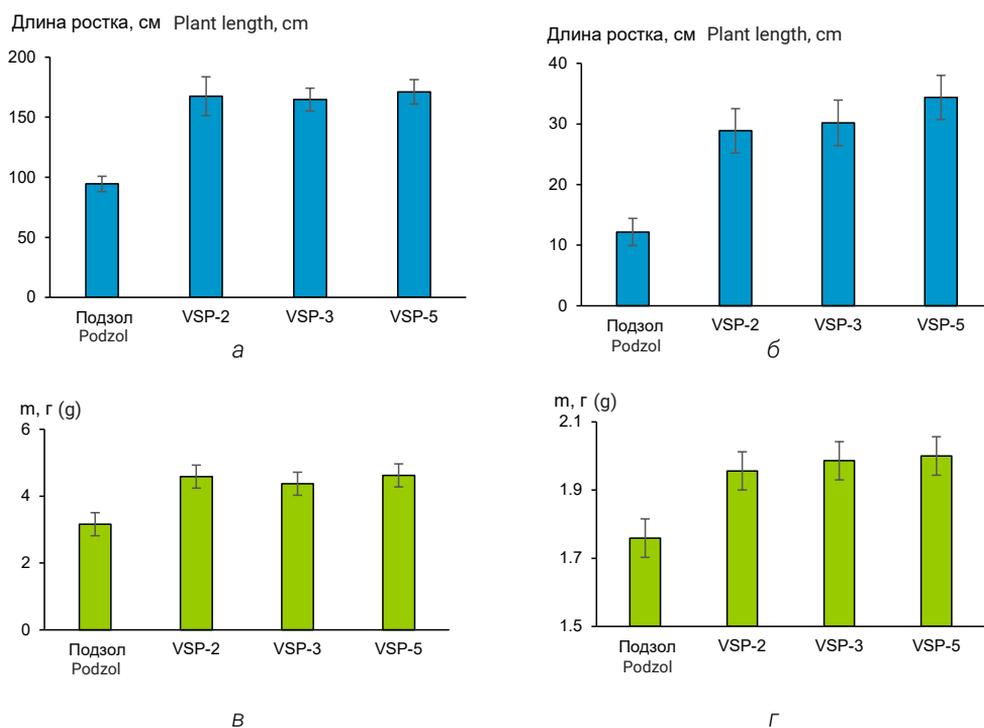


Рис. 7. Морфометрические показатели тест-культур через 21 день после начала эксперимента: длина ростков (а, б) и биомасса (в, г) *A. sativa* (а, в) и *T. pratense* (б, г)

Fig. 7. Morphometric parameters of test crops 21 days after the start of the experiment: plant length (а, б) and biomass (в, г) of *A. sativa* (а, в) and *T. pratense* (б, г)

Внесение добавок к техногенно загрязненной почве оказало стимулирующий эффект как на длину проростков, так и на прирост наземной биомассы. Масса *A. sativa* в опытных вариантах увеличилась в 1,4...1,5 раз, длина листьев — в 1,7...1,8 раз

по сравнению с контролем. Отклик *T. pratense* на внесение мелиорантов проявлялся в еще большем, по сравнению с *A. sativa*, увеличении длины ростков (2,4...2,8 раз) при меньшем влиянии почвосмеси на накопление биомассы в краткосрочном (21 день) эксперименте.

Заключение

Определены физико-химические характеристики почвосмесей, состоящих из термовермикулита, отработанного серпентинового сорбента и почвы с высоким содержанием металлов. Добавление мелиорантов к кислому подзолу (рН 4,65) через 7 сут взаимодействия увеличивало щелочность почвы до 8,07 при соотношении сорбента, термовермикулита и почвы, %, 16:16,5:67,2 и до 8,83 при соотношении 25:37,5:37,5. Термовермикулит более чем на порядок увеличивал содержание водорастворимых К, Са и Mg, а также снижал содержание Cu и Ni в 14,4 и 1,5 раза соответственно. Добавление к системе серпентинового сорбента еще больше увеличило концентрацию водорастворимой фракции Са, Mg и К и снизило концентрацию потенциально токсичных металлов.

Внесение мелиорантов приводило к увеличению влагоудерживающей способности смесей по сравнению с подзолом, причем добавление к системе дополнительных 5 % сорбента при равном соотношении термовермикулита и подзола привело к увеличению полной влагоемкости на 20 %. Избыток магния в системе и его встраивание в межслоевые пространства путем катионного обмена с Al^{3+} , Fe^{3+} и Ca^{2+} привело к дополнительному связыванию воды за счет гидратации магния. Это подтверждается существенным увеличением содержания водорастворимого Са по мере увеличения доли термовермикулита в смеси. Результаты фитотестирования показали, что добавление мелиорантов к подзолу снижало токсичность техногенно загрязненной почвы, что выражалось в увеличении длины и массы надземных органов растений.

Внесение смеси модифицированных слоистых силикатов (термовермикулита и отработанного серпентинового сорбента) приводило к улучшению гидрофизических и агрохимических характеристик техногенно загрязненной почвы, снижению ее кислотности и токсичности, улучшению морфометрических показателей тест-культур. Использование материалов из слоистых глинистых минералов, полученных из отходов горнодобывающей промышленности, для ремедиации экстремально загрязненной и деградированной почвы позволяет повысить эффективность технологий восстановления нарушенных территорий и способствует снижению объема накопленных отходов.

Библиографический список

1. Андроханов В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2005. 32 с.
2. Kavamura V.N., Esposito E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals // *Biotechnology advances*. 2010. Vol. 28. № 1. С. 61—69. doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.09.002

3. *Копцик Г.Н.* Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 851—868. doi: 10.7868/S0032180X14070077
4. *Kozlov M.V., Zvereva E.L.* Industrial barren: extreme habitats created by non-ferrous metallurgy // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2007. Т. 6. № 1. P. 231—259. doi: 10.1007/s11157-006-9117-9
5. *Калабин Г.В., Евдокимова Г.А., Горный В.И.* Оценка динамики растительного покрова нарушенных территорий в процессе снижения воздействия комбината «Североникель» на окружающую среду // Горный журнал. 2010. № 2. С. 74—77.
6. *Шишикин А.С., Абаимов А.П., Онучин А.А.* Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием // Сибирский экологический журнал. 2014. Т. 21. № 6. С. 863—871.
7. *Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л.* Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429—435.
8. *Hafeez F., Martin-Laurent F., Béguet J., Bru D., Cortet J., Schwartz Chr., Morel J.-I., Philippot L.* Taxonomic and functional characterization of microbial communities in Technosols constructed for remediation of a contaminated industrial wasteland // *Journal of Soils and Sediments*. 2012. № 12(9). P. 1396—1406. doi: 10.1007/s11368-012-0563-4
9. *Кашулина Г.М., Переверзев В.Н., Литвинова Т.И.* Трансформация органического вещества почв в условиях экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1265—1275.
10. *Кашулина Г.М.* Экстремальное загрязнение почв выбросами медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // Почвоведение. 2017. № 7. С. 860—873.
11. *Sarkar S., Sarkar B., Basak B.B., Mandal S., Biswas B., Srivastava P.* Soil mineralogical perspective on immobilization/mobilization of heavy metals // *Adaptive Soil Management: From Theory to Practices* / by eds. A. Rakshit, P. Abhilash, H. Singh, S. Ghosh. Singapore: Springer, 2017. P. 89—102. doi: 10.1007/978-981-10-3638-5_4
12. *Cao C.-Y., Yu B., Wang M., Zhao Y.-Y., Wan X., Zhao Sh.* Immobilization of cadmium in simulated contaminated soils using thermal-activated serpentine // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. № 66(3). P. 499—505. doi: 10.1080/00380768.2020.1742583
13. *Zotiadis V., Argyraki A.* Development of innovative environmental applications of attapulgite clay // *Bull. Geol. Soc. Greece*. 2013. Vol. 47. № 2. P. 992—1001. doi: 10.12681/bgsg.11139
14. *Vhahangwele M., Mugeru G.W.* The potential of ball-milled South African bentonite clay for attenuation of heavy metals from acidic wastewaters: Simultaneous sorption of Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , and Zn^{2+} ions // *J. Environ. Chem. Eng.* 2015. Vol. 3. № 4. P. 2416—2425. doi: 10.1016/j.jece.2015.08.016
15. *De la Calle C., Suquet H.* Chapter 12. Vermiculite // *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas)* / edited by S.W. Bailey. Berlin, Boston: De Gruyter, 2018. pp. 455—496. doi: 10.1515/9781501508998-017
16. *Kremenetskaya I., Tereshchenko S., Alekseeva S., Mosendz I., Slukovskaya M., Ivanova L., Mikhailova I.* Vermiculite-lizardite ameliorants from mining waste // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 368. № 1. P. 012027. doi: 10.1088/1755-1315/368/1/012027
17. *Kremenetskaya I., Ivanova L., Chislov M., Zvereva I., Vasilieva T., Marchevskaya V., Semushin V., Slukovskaya M.* Physicochemical transformation of expanded vermiculite after long-term use in hydroponics // *Applied Clay Science*. 2020. Vol. 198. P. 105839. doi: 10.1016/j.clay.2020.105839
18. *Мосендз И.А., Кременецкая И.П., Новиков А.И., Терещенко С.В.* Очистка техногенно загрязненных водных объектов от меди и никеля вермикулит-сунгулитовыми материалами // Цветные металлы. 2021. № 2. С. 36—41. doi: 10.17580/tsm.2021.02.05
19. *Кременецкая И.П., Корытная О.П., Васильева Т.Н., Бубнова Т.П.* Особенности получения и применения фракционированного магнезиально-силикатного реагента // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85. № 10. С. 1553—1561.
20. *Федотова Е.В., Мосендз И.А., Кременецкая И.П., Дрогобужская С.В.* Формы осаждения меди и никеля сунгулитом и термовермикулитом // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. № 5—1 (8). С. 212—218.
21. *Slukovskaya M.V., Kremenetskaya I.P., Drogobuzhskaya S.V., Ivanova L.A., Mosendz I.A., Novikov A.I.* Serpentine mining wastes — Materials for soil rehabilitation in Cu-Ni polluted wastelands // *Soil Science*. 2018. Vol. 183. № 4. Pp. 141—149. doi: 10.1097/SS.0000000000000236
22. *Cao C.Y., Yu B., Wang M., Zhao Y.Y., Wan X., Zhao S.* Adsorption properties of Pb^{2+} on thermal-activated serpentine // *Separation Science and Technology*. 2019. Vol. 54. № 18. Pp. 3037—3045. doi: 10.1080/01496395.2019.1565776

23. Иванова Т.К., Кременецкая И.П., Гуревич Б.И. Получение и технологические характеристики гранулированного магнезиально-силикатного реагента // Химическая технология. 2018. Т. 20. № 1. С. 2—10.
24. Кременецкая И.П., Иванова Т.К., Гуревич Б.И., Новиков А.И., Семушин В.В. Раздельное осаждение металлов из высококонцентрированных растворов гранулированным магнезиально-силикатным реагентом // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24. № 1. С. 118—130. doi: 10.21443/1560-9278-2021-24-1-118-130
25. Ivanova T.K., Kremenetskaya I.P., Novikov A.I., Semenov V.G., Nikolaev A.G., Slukovskaya M.V. In Situ Control of Thermal Activation Conditions by Color for Serpentine with a High Iron Content // Materials. 2021. Vol. 14. № 21. P. 6731. doi: 10.3390/ma14216731
26. Kremenetskaya I., Alekseeva S., Slukovskaya M., Mosendz I., Drogobuzhskaya S., Ivanova L. Expanded vermiculite-reached product obtained from mining waste: the effect of roasting temperature on the agronomic properties // Hysicochem. Probl. Miner. Process. 2020. Vol. 56. № 1. P. 103—112. doi: 10.5277/ppmp19086
27. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. 295 с.
28. Иванова Т.К., Кременецкая И.П. Получение гранулированного серпентинито-магнезита с применением смесителя-гранулятора периодического действия // Наука и образование в арктическом регионе: материалы междунар. науч.-практич. конф. Мурманск, 2016. С. 68—73.
29. ГОСТ 19440-94. Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. Часть 2. Метод волномера Скотта. М., 1994. 12 с.
30. ГОСТ 32632-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. М.: Стандартинформ, 2015. 15 с.
31. Ладонин Д.В. Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М., 2016.
32. Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Burachevskaya M.V., Bauer T.V., Sushkova S.N. Method of determining loosely bound compounds of heavy metals in the soil // MethodsX. 2018. Vol. 5. P. 217—226. doi: 10.1016/j.mex.2018.02.007
33. Сиромля Т.И. К вопросу о подвижных формах соединений химических элементов в почвах // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 16. № 2. С. 307—318.
34. Красавцева Е.А., Иванова Т.К., Мосендз И.А., Максимова В.В., Канарейкина И.П., Паникоровский Т.Л., Слуковская М.В. Гидрофизические свойства как лимитирующий фактор самовосстановления техногенных ландшафтов // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья: материалы междунар. конф. «Плаксинские чтения — 2021». Владикавказ, 2021. С. 562—565.
35. Feng J., Liu M., Fu L., Ma S., Yang J., Mo W., Su X. Study on the influence mechanism of Mg²⁺ modification on vermiculite thermal expansion based on molecular dynamics simulation // Ceramics International. 2020. Vol. 46. № 5. P. 6413—6417. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.11.119
36. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012.
37. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005.

References

1. Androkhonov VA. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennykh landshaftov: dinamika i otsenka* [Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment] [Dissertation]. Novosibirsk; 2005. (In Russ.).
2. Kavamura VN, Esposito E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnology advances*. 2010; 28(1):61—69. doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.09.002
3. Koptsik GN. Modern approaches to remediation of heavy metal polluted soils: review. *Pochvovedenie*. 2014. № 7. С. 851—868. (In Russ.). doi: 10.7868/S0032180X14070077
4. Kozlov MV, Zvereva EL. Industrial barrens: extreme habitats created by non-ferrous metallurgy. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2007; 6(1):231—259. doi: 10.1007/s11157-006-9117-9
5. Kalabin GV, Evdokimova GA, Gornyi VI. Estimation of dynamics of grows of derelict lands in process of deleterious effect decrease of OJSC «Severonickel combine» on environment. *Gornyi zhurnal*. 2010; (2):74—77. (In Russ.).
6. Shishikin AS, Abaimov AP, Onuchin AA. Principles of research organization and methodology of natural ecosystems in regions under extreme technogenic impact. *Siberian journal of ecology*. 2014; 21(6):863—871. (In Russ.).

7. Smorkalov IA, Vorobeichik EL. Soil respiration of forest ecosystems in gradients of environmental pollution by emissions from copper smelters. *Russian journal of ecology*. 2011; 42(6):464—470. doi: 10.1134/S1067413611060166
8. Hafeez F, Martin-Laurent F, Béguet J, Bru D, Cortet J, Schwartz C, et al. Taxonomic and functional characterization of microbial communities in Technosols constructed for remediation of a contaminated industrial wasteland. *Journal of Soils and Sediments*. 2012; 12(9):1396—1406. doi: 10.1007/s11368-012-0563-4
9. Kashulina GM, Pereverzev VN, Litvinova TI. Transformation of the soil organic matter under the extreme pollution by emissions of the Severonikel smelter. *Eurasian Soil Science*. 2010; 43(10):1174—1183. doi: 10.1134/S1064229310100108
10. Kashulina GM. Extreme soil contamination by copper-nickel plant emissions on the Kola Peninsula. *Soil Science*. 2017; 50(7):837—849. doi: 10.1134/S1064229317070031
11. Sarkar S, Sarkar B, Basak BB, Mandal S, Biswas B, Srivastava P. Soil mineralogical perspective on immobilization/mobilization of heavy metals. In: *Adaptive Soil Management: From Theory to Practices* Singapore: Springer; 2017. p.89—102. doi: 10.1007/978-981-10-3638-5_4
12. Cao CY, Yu B, Wang M, Zhao YY, Wan X, Zhao S. Immobilization of cadmium in simulated contaminated soils using thermal-activated serpentine. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020; 66(3):499—505. doi: 10.1080/00380768.2020.1742583
13. Zotiadis V, Argyraki A. Development of innovative environmental applications of attapulgite clay. *Bull. Geol. Soc. Greece*. 2013; 47(2):992—1001. doi: 10.12681/bgsg.11139
14. Vhahangwele M, Mugeru GW. The potential of ball-milled South African bentonite clay for attenuation of heavy metals from acidic wastewaters: Simultaneous sorption of Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , and Zn^{2+} ions. *J. Environ. Chem. Eng.* 2015; 3(4A):2416—2425. doi: 10.1016/j.jece.2015.08.016
15. De la Calle C, Suquet H. Vermiculite. In: Bailey S. (ed.) *Hydrous Phyllosilicates*. Berlin, Boston: De Gruyter; 2018. p.455—496. doi: 10.1515/9781501508998-017
16. Kremenetskaya I, Tereshchenko S, Alekseeva S, Mosendz I, Slukovskaya, M, Ivanova L, et al. Vermiculite-lizardite ameliorants from mining waste. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume 368. Moscow: IOP Publishing; 2019. p.012027. doi: 10.1088/1755-1315/368/1/012027
17. Kremenetskaya I, Ivanova L, Chislov M, Zvereva I, Vasilieva T, Marcheviskaya, et al. Physicochemical transformation of expanded vermiculite after long-term use in hydroponics. *Applied Clay Science*. 2020; 198:105839. doi: 10.1016/j.clay.2020.105839
18. Mosendz IA, Kremenetskaya IP, Novikov AI, Tereshchenko SV. Treatment of technogenically polluted water bodies from copper and nickel by vermiculite-sungulite materials. *Tsvetnye metally*. 2021; (2):36—41. (In Russ.). doi: 10.17580/tsm.2021.02.05
19. Kremenetskaya IP, Korytnaya OP, Vasilyeva TN, Bubnova TP. Peculiar features of preparation and application of fractionated magnesia-silicate reagent. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012; 85(10):1553—1561. doi: 10.1134/S1070427212100011
20. Fedotova EV, Mosendz IA, Kremenetskaya IP, Drogobuzhskaya SV. Forms of copper and nickel deposition by sungulite and thermovermiculite. *Transactions Kola science centre*. 2017; (5-1): 212—218. (In Russ.).
21. Slukovskaya MV, Kremenetskaya IP, Drogobuzhskaya SV, Ivanova LA, Mosendz IA, Novikov AI. Serpentine mining wastes—Materials for soil rehabilitation in Cu-Ni polluted wastelands. *Soil Science*. 2018; 183(4):141—149. doi: 10.1097/SS.0000000000000236
22. Cao CY, Yu B, Wang M, Zhao YY, Wan X, Zhao S. Adsorption properties of Pb^{2+} on thermal-activated serpentine. *Separation Science and Technology*. 2019; 54(18):3037—3045. doi: 10.1080/01496395.2019.1565776
23. Ivanova TK, Kremenetskaya IP, Gurevich BI. Production and technological characteristics of granulated magnesium-silicate reagent. *Chemical Technology*. 2018; 20(1):2—10. (In Russ.).
24. Kremenetskaya IP, Ivanova TK, Gurevich BI, Novikov AI, Semushin VV. Separate deposition of metals from highly concentrated solutions with granulated magnesia-silicate reagent. *Vestnik MSTU*. 2021; 24(1):118—130. (In Russ.). doi: 10.21443/1560-9278-2021-24-1-118-130
25. Ivanova TK, Kremenetskaya IP, Novikov AI, Semenov VG., Nikolaev AG, Slukovskaya MV. In Situ Control of Thermal Activation Conditions by Color for Serpentine with a High Iron Content. *Materials*. 2021; 14(21):6731. doi: 10.3390/ma14216731
26. Kremenetskaya I, Alekseeva S, Slukovskaya M, Mosendz I, Drogobuzhskaya S, Ivanova L. Expanded vermiculite-reached product obtained from mining waste: the effect of roasting temperature on the agronomic properties. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2020; 56(1):103—112. doi: 10.5277/ppmp19086
27. Ashirov A. *Ionoobmennaya ochistka stochnykh vod, rastvorov i gazov* [Ion-exchange treatment of wastewater, solutions and gases]. Leningrad: Khimiya publ.; 1983. (In Russ.).

28. Ivanova TK, Kremenetskaya IP. Obtaining granulated serpentinite-magnesite with the use of batch mixer-granulator. In: *Science and education in the Arctic region: conference proceedings*. Murmansk; 2016. p.68—73. (In Russ.).
29. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. GOST 19440-94. *Metal powders. Determination of bulk density. Part 1. Method using a funnel. Part 2. Scott's volumeter method*. Moscow; 1994. (In Russ.).
30. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. GOST 32632-2014. *Test methods for chemical products hazardous to the environment*. Moscow: Standardinform; 2015. (In Russ.).
31. Ladonin DV. *Formy soedinenii tyazhelykh metallov v tekhnogenno-zagryaznennykh pochvakh* [Forms of heavy metal compounds in technogenically polluted soils] [Dissertation]. Moscow; 2016. (In Russ.).
32. Minkina TM, Mandzhieva SS, Burachevskaya MV, Bauer TV, Sushkova SN. Method of determining loosely bound compounds of heavy metals in the soil. 2018. *MethodsX*. 2018; 5:217—226. doi: 10.1016/j.mex.2018.02.007
33. Siromlya TI. Mobile forms of compounds of chemical elements in soils. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2009; 16(2):307—318. (In Russ.).
34. Krasavtseva EA, Ivanova TK, Mosendz IA, Maksimova VV, Kanarekina IP, Panikorovsky TL, et al. Hydrophysical properties as a limiting factor of self-restoration of man-made landscapes. In: *Problems of complex and environmentally safe processing of natural and man-made mineral raw materials: conference proceedings*. Vladikavkaz; 2021; p.562—565. (In Russ.).
35. Feng J, Liu M, Fu L, Ma S, Yang J, Mo W, et al. Study on the influence mechanism of Mg²⁺ modification on vermiculite thermal expansion based on molecular dynamics simulation. *Ceramics International*. 2020; 46(5):6413—6417. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.11.119.
36. Smagin AV. *Teoriya i praktika konstruirovaniya pochv* [Theory and practice of soil design]. Moscow; 2012. (In Russ.).
37. Shein EV. *Kurs fiziki pochv* [Course of physics of soils]. Moscow; 2005. (In Russ.).

Об авторах:

Иванова Татьяна Константиновна — младший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, д. 14; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева ФИЦ КНЦ РАН, 184209, Российская Федерация, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 26 а; e-mail: tk.ivanova@ksc.ru ORCID 0000-0002-8103-2279

Слуковская Марина Вячеславовна — старший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, д. 14; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 26 а; департамент ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, к. 2; e-mail: m.slukovskaya@ksc.ru ORCID 0000-0002-5406-5569

Мосендз Ирина Александровна — младший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, д. 14; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 26 а; e-mail: ia.mosendz@ksc.ru ORCID 0000-0003-3129-7305

Красавцева Евгения Андреевна — младший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, д. 14; Институт проблем промышленной экологии севера ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 14а; e-mail: e.krasavtseva@ksc.ru
ORCID 0000-0002-8821-4446

Максимова Виктория Вячеславовна — младший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, д. 14; Институт проблем промышленной экологии севера ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 14а; e-mail: v.maksimova@ksc.ru
ORCID 0000-0002-5080-5187

Канарейкина Инна Павловна — младший научный сотрудник, департамент ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198 г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, к. 2; e-mail: innesochkaaa@yandex.ru
ORCID 0000-0003-1930-5050

Широкая Анна Александровна — инженер, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 26 а; e-mail: a.shirokaia@ksc.ru
ORCID 0000-0002-1325-2499

Кременецкая Ирина Петровна — старший научный сотрудник, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Академгородок, д. 26 а; e-mail: i.kremenetskaia@ksc.ru
ORCID 0000-0003-3531-8273

About authors:

Ivanova Tatiana Konstantinovna — Junior Researcher, Laboratory of Nature-Inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 14 Fersmana st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: tk.ivanova@ksc.ru
ORCID 0000-0002-8103-2279

Slukovskaya Marina Vyacheslavovna — Senior Researcher, Laboratory of Nature-Inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 14 Fersmana st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Department of Landscape Design and Sustainable Ecosystems, RUDN University, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: m.slukovskaya@ksc.ru
ORCID 0000-0002-5406-5569

Mosendz Irina Alexandrovna — Junior Researcher, Laboratory of Nature-Inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 14 Fersmana st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: ia.mosendz@ksc.ru
ORCID 0000-0003-3129-7305

Krasavtseva Evgeniya Andreyevna — Junior Researcher, Laboratory of Nature-Inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 14 Fersmana st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apati-ty, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: e.krasavtseva@ksc.ru
ORCID 0000-0002-8821-4446

Maksimova Victoria Vyacheslavovna — Junior Researcher, Laboratory of Nature-Inspired Technologies and Environmental Safety of the Arctic region, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 14 Fersmana st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 14a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: v.maksimova@ksc.ru
ORCID 0000-0002-5080-5187

Kanareikina Inna Pavlovna — Junior Researcher, Department of Landscape Design and Sustainable Ecosystems, RUDN University, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: innesochkaaa@yandex.ru
ORCID 0000-0003-1930-5050

Shirokaya Anna Alexandrovna — engineer, Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: a.shirokaia@ksc.ru
ORCID 0000-0002-1325-2499

Kremenetskaya Irina Petrovna — Senior Researcher, Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 26a Akademgorodok st., Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation; e-mail: i.kremenetskaia@ksc.ru
ORCID 0000-0003-3531-8273



Защитное лесоразведение Protective afforestation

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399

УДК 633.2.03

Научная статья / Research article

Роль защитных лесных насаждений разных типов в кормовой продуктивности пастбищных угодий Западного Прикаспия

Л.П. Рыбашлыкова¹  , С.Н. Сивцева² , Т.Ф. Маховикова² 

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Российская Федерация

²Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения, с. Ачикулак, Нефтекумский городской округ, Ставропольский край, Российская Федерация

 ludda4ka@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований лесопастбищ с разной плотностью древесного яруса. Представлена сезонная динамика урожайности и питательности травяного и веточно-листового корма лесопастбищных угодий. Бессистемное использование пастбищ аридных территорий привело к усилению процесса деградации и стало одним из факторов нарушения их естественной растительности. Применение лесной мелиорации в 1970—1990-х гг. на песчаных землях и пастбищах Западного Прикаспия сделало возможным создание значительных площадей лесопастбищных угодий с полосными и массивными насаждениями из вяза приземистого *Ulmus pumila* L. и робинии *Robinia pseudoacacia* L. Разные типы древесных насаждений, созданные на пастбищах, не только улучшают микроклимат и формируют комфортную среду для выпаса животных, но и являются дополнительным источником ценного веточного корма к пастбищному травостою. Цель исследований — изучить кормовую продуктивность лесопастбищных угодий с разным типом насаждений на песках Западного Прикаспия. Объектами исследований являлись лесопастбища с разным породным составом и сомкнутостью древесного яруса. Исследования по кормовой продуктивности лесомелиорированных пастбищ проводили в 2018—2020 гг. на базе Северо-Кавказского филиала ФНЦ агроэкологии РАН. Основу исследований составили полевые опыты и лабораторные анализы. По результатам исследования отмечено, что лесомелиорированные пастбища при бессистемном стравливании в 1,5...2 раза продуктивнее естественных. Наибольшее количество веточно-листового корма формируется в широкополосных насаждениях из робинии в лет-

© Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

не-осенний период. Общий валовой запас естественных пастбищ Западного Прикаспия не превышает 0,3...0,4 т/га сухой массы, поедаемый запас составляет 0,2...0,3 т/га. При помощи полосных и массивных насаждений на деградированных пастбищных угодьях удастся значительно повысить их продуктивность и качество — до 7 МДж обменной энергии и 0,26...0,29 кормовых единиц в 1 кг веточно-листового корма вяза и робинии в период засух.

Ключевые слова: лесные насаждения, вяз приземистый, робиния, лесопастбища, веточно-листовая масса, урожайность, запас корма, питательность

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено по теме Государственного задания № 0713-2020-0002 «Разработать научные основы, новые методы, модели и технологии эффективного лесомелиоративного освоения и многоцелевого использования низкопродуктивных и деградированных земель засушливой зоны Российской Федерации».

История статьи: поступила в редакцию: 25 марта 2021 г.; принята к публикации: 9 декабря 2021 г.

Для цитирования: Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. Роль защитных лесных насаждений разных типов в кормовой продуктивности пастбищных угодий Западного Прикаспия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 389—399. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399

Role of different types of protective forest stands in fodder productivity of rangeland in the Western Caspian region

Ludmila P. Rybashlykova¹   Svetlana N. Sivceva² ,
Tatyana F. Mahovikova² 

¹Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, *Volgograd, Russian Federation*

²North Caucasian branch of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, *Stavropol Territory, Russian Federation*

 ludda4ka@mail.ru

Abstract. Forest pastures with different tree crown cover were studied. The seasonal dynamics of the yield and nutritional value of grass and twig-leaf fodder of forest pasture was studied. The unsystematic use of pastures in arid territories has increased the process of degradation and has become one of the factors of depletion of their natural vegetation. The use of forest reclamation in the 70s and 90s on sandy lands and pastures in the Western Caspian region made it possible to create significant areas of forest pasture land with strip and massive stands of *Ulmus pumila* L. and *Robinia pseudoacacia* L. Different types of tree stands created on pastures not only improve the microclimate and form a comfortable environment for grazing animals, but also are an additional source of valuable twig feed. The aim of the research was to study forage productivity of forest pastures with different types of plantings on the sands of the Western Caspian region. The objects of the research were forest pastures with different species composition and tree crown cover. Studies on the forage productivity of forest-reclaimed pastures were conducted in 2018—2020 on the basis of the North Caucasus branch of Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Af-forestation of the Russian Academy of Sciences. The research was based on field experiments and laboratory analyses. According to the results of the study, forest-

reclaimed pastures with unsystematic grazing had 1.5...2-fold increase in productivity compared to natural ones. The largest amount of twig-leaf feed was formed in broad-band *Robinia* stands in summer-autumn period. The total gross stock of natural pastures of the Western Caspian region did not exceed 0.3...0.4 t/ha of dry weight, the consumed stock was 0.2...0.3 t/ha. With the help of strip and massive plantings on degraded pasture lands, it is possible to increase significantly their productivity and quality with the achievement of 7 MJ of exchange energy and 0.26...0.29 feed units in 1 kg of elm and robinia twig-leaf feed during droughts.

Key words: plantings, *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, forest pastures, twig-leaf mass, yield, feed stock, nutritional value

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The study was carried out on the topic of State Assignment No. 0713-2020-0002 «To develop scientific foundations, new methods, models and technologies for effective forest reclamation development and multipurpose use of low-productive and degraded lands in the arid zone of the Russian Federation.»

Article history: Received: 25 March 2021. Accepted: 9 December 2021.

For citation: Rybashlykova LP, Sivceva SN, Mahovikova TF. Role of different types of protective forest stands in fodder productivity of rangeland in the Western Caspian region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):389—399. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-389-399

Введение

Бессистемное использование пастбищ стало одним из факторов нарушения их естественной растительности [1—2]. В течение 1970—1990-х гг. на песчаных землях и пастбищах Западного Прикаспия созданы значительные площади полосных и массивных насаждений из лиственных пород: вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) и робинии (*Robinia pseudoacacia* L.). Разные типы древесных насаждений, созданные на пастбищах, не только улучшают микроклимат и формируют комфортную среду для выпаса животных, но и являются дополнительным источником ценного веточного корма к пастбищному травостоя [3—5]. Урожайность пастбищного травостоя в Западном Прикаспии колеблется в больших пределах: в крайне засушливые годы снижается на 70...80 %, а во влажные годы повышается в 2—3 раза [6]. Проведенные Северо-Кавказским филиалом Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения (ФНЦ агроэкологии РАН) многолетние исследования показали, что в настоящее время происходит ускоренное падение кормоемкости и фитоценотипического разнообразия под влиянием погодных условий и неправильной эксплуатации пастбищных угодий [7—9]. Нестабильная продуктивность деградированных пастбищ сдерживает обеспеченность кормом поголовья овец и крупного рогатого скота (КРС) в регионе за последние годы. Одним из решающих условий для дальнейшего развития животноводства является создание прочной кормовой базы [10, 11].

Эффективность улучшения пастбищ значительно повышается в комплексе с лесомелиорацией, созданием пастбищезащитных лесных насаждений, путем рационального использования в соответствии с нагрузкой, урожайностью, продолжительностью выпаса, количеством поголовья. Это способствует долговременной

устойчивости и кормоемкости [12, 13]. В связи с этим **цель исследования** — изучить кормовую продуктивность лесопастбищных угодий с разным типом насаждений на песках Западного Прикаспия.

Материалы и методы исследований

Объекты исследований — лесопастбища с разными типами насаждений: широкополосные, узкополосные, изреженные (саванного типа) из вяза приземистого и робинии, контроль — открытый степной участок. Лесомелиоративная оценка древостоев проведена с использованием методик в лесной таксации А.П. Анучина (1961) [14], И.В. Никифорчина (2011) [15].

Участки лесомелиорированных пастбищ расположены на светло-каштановых супесчаных почвах с корнедоступными слабоминерализованными грунтовыми водами (Нефтекумский район Ставропольского края).

Изучение роста и развития растений, видовое разнообразие, структуру и сезонную динамику кормовой продуктивности древесного яруса и травянистой растительности проводили на постоянных пробных площадях. Сезонную массу с дерева брали с высоты 1,2...1,7 м, взвешивали, распределяли на веточную и листовую массу, указывали диаметр стравливаемых ветвей. На всех участках огорожены заповедники (без выпаса) для контрольных учетов запаса корма. Урожайность и структуру фитоценоза травянистой растительности определяли укосным методом в трехкратной повторности.

Результаты исследования и обсуждение

По результатам лесомелиоративной оценки возраст широкополосных насаждений — 30 лет, узкополосных насаждений — от 35 (вяз) до 37 (робинии) лет. Возраст изреженных насаждений саванного типа составляет 22 года (робиния) — 30 лет (вяз) (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика древесных насаждений на песках Западного Прикаспия

Породный состав	Количество деревьев, шт.	Расстояние между деревьями в ряду, м	Высота деревьев, м	Диаметр ствола, м	Высота поднятия кроны, м	Сомкнутость крон	
						Общая	В ряду
Широкополосные насаждения							
Вяз	515	5,8	7,0	9,4	1,3	0,8	0,6
Робиния	394	7,1	5,5	10,5	1,4	0,7	0,6
Узкополосные насаждения							
Вяз	265	4,8	11,9	21,7	1,5	0,4	0,5
Робиния	310	4,8	6,0	13,8	1,3	0,2	0,8

Породный состав	Количество деревьев, шт.	Расстояние между деревьями в ряду, м	Высота деревьев, м	Диаметр ствола, м	Высота поднятия кроны, м	Сомкнутость крон	
						Общая	В ряду
Саванные насаждения							
Вяз	76	40,0	9,7	23,4	1,2	0,1	–
Робиния	110	27,0	6,3	19,3	1,1	0,1	–

Table 1

Taxation characteristics of tree plantations on sandy soils of Western Caspian Region

Species composition	Number of trees	Distance between trees in a row, m	Tree height, m	Barrel diameter, m	Crown lifting height, m	Tree crown cover	
						general	in a row
Broad-band plantings							
Ulmus	515	5.8	7.0	9.4	1.3	0.8	0.6
Robinia	394	7.1	5.5	10.5	1.4	0.7	0.6
Narrow-band plantings							
Ulmus	265	4.8	11.9	21.7	1.5	0.4	0.5
Robinia	310	4.8	6.0	13.8	1.3	0.2	0.8
Savanna plantings							
Ulmus	76	40.0	9.7	23.4	1.2	0.1	–
Robinia	110	27.0	6.3	19.3	1.1	0.1	–

Древесные насаждения, созданные на пастбищах, накапливают более 4 т/га надземной фитомассы, что является страховым запасом корма в неблагоприятные периоды. Результаты исследований лесопастбищ показали, что в весенний период в широкополосных насаждениях вяза и робинии запасы веточно-листового корма на высоте стравливания 1,2...1,7 м составляют 62,6 кг/га зеленой массы, на узкополосных — 39,1 кг/га, в саванных — 12,6 кг/га.

В летний период веточно-лиственная масса увеличилась в 2 раза и составила в широкополосных насаждениях — 151,3 кг/га, в узкополосных — 95,7 кг/га, в саванных — 30,9 кг/га. К середине лета травянистая растительность выгорает и животные нуждаются в зеленой подкормке. Древесная листва в это время не теряет своих достоинств. К древесной зелени относятся мелкие ветки (побеги), покрытые листьями и имеющие толщину среза не более 6 мм.

В структуре веточно-листового корма масса ветвей диаметром 3...5 мм имеет незначительный удельный вес: от 0,02 кг/га в весенний период до 77,3 кг/га осенью. В осенний период зеленая масса веточно-листового корма еще значительно увеличивалась на 45...86 % (табл. 2).

Таблица 2

Кормовая продуктивность веточно-лиственной массы вязовых и робиниевых насаждений на высоте стравливания 1,2...1,7 м

Типы лесопастбищ/ порода	Кормовая продуктивность, кг/га								
	Листовая масса с ветвями диаметром 1 мм						Ветви		
	Весна		Лето		Осень		Весна	Лето	Осень
	Зеленая масса	Сухая масса	Зеленая масса	Сухая масса	Зеленая масса	Сухая масса	Сухая масса		
Широкополосные									
Вяз	69,9	63,3	171,5	126,2	186,5	136,8	0,07	0,89	77,3
Робиния	55,3	48,5	131,2	96,5	252,3	142,7	0,08	0,10	22,1
Узкополосные									
Вяз	36,1	32,6	88,2	64,9	102,0	74,3	0,09	0,11	16,4
Робиния	42,1	38,1	103,2	75,9	146,5	108,4	0,10	0,12	15,5
Саванные									
Вяз	10,3	9,3	25,3	18,6	24,5	50,3	0,04	0,07	8,4
Робиния	14,9	13,5	36,6	27,0	90,6	68,0	0,02	0,04	13,2
HCP _{05 вяз зел. масса} = 63 кг/га $F_{\phi} = 14,7 > F_{\tau} = 6,9$									
HCP _{05 робиния зел. масса} = 75 кг/га $F_{\phi} = 6,6 < F_{\tau} = 6,9$									

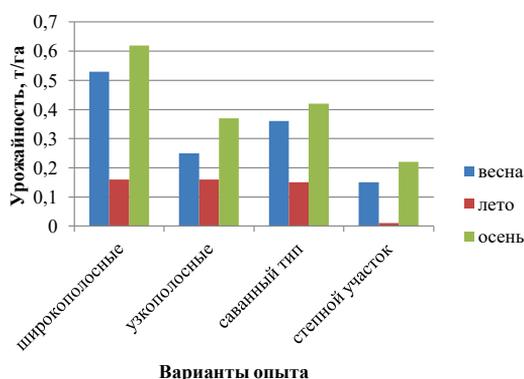
Table 2

Feed productivity of twig-leaf mass of *Ulmus pumila* and *Robinia pseudoacacia* plantings from a height of 1.2...1.7 m

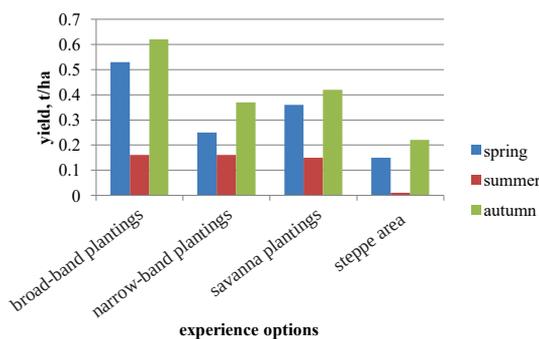
Type of pasture / tree species	Feed productivity, kg/ha								
	Mass of leaves and twigs with a diameter of 1 mm						Branches		
	Spring		Summer		Autumn		Spring	Summer	Autumn
	Green mass	Dry weight	Green mass	Dry weight	Green mass	Dry weight	Dry weight		
Broad-band plantings									
Ulmus	69.9	63.3	171.5	126.2	186.5	136.8	0.07	0.89	77.3
Robinia	55.3	48.5	131.2	96.5	252.3	142.7	0.08	0.10	22.1
Narrow-band plantings									
Ulmus	36.1	32.6	88.2	64.9	102.0	74.3	0.09	0.11	16.4
Robinia	42.1	38.1	103.2	75.9	146.5	108.4	0.10	0.12	15.5
Savanna plantings									
Ulmus	10.3	9.3	25.3	18.6	24.5	50.3	0.04	0.07	8.4
Robinia	14.9	13.5	36.6	27.0	90.6	68.0	0.02	0.04	13.2
LSD _{05 Ulmus green mass} = 63 kg/ha $F_{\tau} = 14.7 > F_{\phi} = 6.9$									
LSD _{05 Robinia green mass} = 75 kg/ha $F_{\tau} = 6.6 < F_{\phi} = 6.9$									

По результатам исследования лесопастбищ отмечено, что наибольшее количество веточно-лиственного корма формируется в широкополосных насаждениях из робинии в летне-осенний период. Учет запасов травянистого корма в течение

трех лет на лесомелиорированных пастбищах выявил, что при бессистемном стравливании запасы в 1,5...2 раза выше, чем на естественных (рис.). Урожайность в широкополосных насаждениях пастбищных трав в весенний период на 0,28 т/га выше по сравнению с узкополосными и на 0,17 т/га больше, чем в саванных. В летний период урожайность пастбищных трав в широкополосных насаждениях снизилась на 0,37 т/га по сравнению с весной. На пастбищах с узкополосными насаждениями урожайность понизилась на 0,09 т/га, в саванных — на 0,21 т/га. В осенний период отмечено увеличение урожайности по всем вариантам. Общий валовой запас естественных пастбищ Западного Прикаспия не превышает 0,3...0,4 т/га сухой массы, поедаемый запас составляет 0,2...0,3 т/га.



Динамика урожайности травяной растительности на различных типах лесопастбищ, т/га



Dynamics of grass yield on different types of forest pastures, t/ha

Определение питательности и химического состава листовой массы вяза и робинии, произрастающих на разных типах пастбищ, показало, что древесная растительность не только дополняет видовой состав травянистого полога, но и, увеличивая емкость, не уступает по питательным свойствам доминантам травостоя *Poa bulbosa* L., *Bromus secalinus* L., *Setaria pumila* Poir.

Наиболее питателен веточно-листовой корм из робинии с содержанием сырого протеина 22,94 % и перевариваемого протеина 35,18 г (табл. 3, 4).

Таблица 3

Химический состав веточно-листового корма и доминатов травостоя лесопастбищ Западного Прикаспия, 2020 г.

Вид корма	Содержание в 1 кг корма естественной влажности сырых орг. веществ, %				
	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Зола
Веточный	18,41	5,10	17,93	65,19	13,45
Вяз приземистый					
Робиния	22,94	4,96	21,62	61,66	7,10
Травянистый	11,50	2,62	34,73	20,76	10,76
<i>Setaria pumila</i> 80 % + <i>Poa bulbosa</i> 15 % + <i>Bromus secalinus</i> 5 %					

Table 3

Chemical composition of forage from pastures in the Western Caspian region, 2020

Feed type	Content of raw organic substances in 1 kg of feed of natural moisture, %				
	Protein	Fat	Fiber	NFE	Ash
Woody	18.41	5.10	17.93	65.19	13.45
<i>Ulmus pumila</i>					
<i>Robinia pseudoacacia</i>	22.94	4.96	21.62	61.66	7.10
Herbaceous	11.50	2.62	34.73	20.76	10.76
<i>Setaria pumila</i> 80 % + <i>Poa bulbosa</i> 15 % + <i>Bromus secalinus</i> 5 %					

Таблица 4

Кормовая ценность веточно-листового корма и травостоя лесопастбищ Западного Прикаспия, 2020 г.

Вид корма	Содержание в 1 кг корма естественной влажности				Содержание в 1 кг воздушно-сухого корма	
	Кормовые единицы	Обменная энергия, МДЖ	Перевариваемый протеин, г	Каротин, мг	Макроэлементы, г	
					Ca	P
Веточный						
Робиния	0,29	3,7	35,18	35	5,6	0,8
Вяз	0,26	3,3	25,64	31	3,4	0,7
Травянистый						
<i>Setaria pumila</i> 80 % + <i>Poa bulbosa</i> 15 % + <i>Bromus secalinus</i> 5 %	0,24	4,8	36,45	27	8,7	1,2

Feed value of forage from pastures of the Western Caspian region, 2020

Feed type	Content in 1 kg of feed of natural moisture				Content in 1 kg of air-dried feed	
	Feed units	Exchange energy, MJ	Digested protein, g	Carotene, mg	Macronutrients, g	
					Ca	P
Woody	0.29	3.7	35.18	35	5.6	0.8
<i>Robinia pseudoacacia</i>						
<i>Ulmus pumila</i>	0.26	3.3	25.64	31	3.4	0.7
Herbaceous	0.24	4.8	36.45	27	8.7	1.2
<i>Setaria pumila</i> 80 % + <i>Poa bulbosa</i> 15 % + <i>Bromus secalinus</i> 5 %						

Таким образом, перед животноводством открываются возможности в использовании веточного корма на лесопастбищах при различных рубках и омоложении не только для непосредственного скармливания животным в тяжелые периоды засухи, но и для заготовки его на зиму, переработки в древесную муку.

Выводы

Неурегулированный интенсивный выпас скота снижает кормовую продуктивность пастбищного травостоя до 0,1...0,2 т/га сухой массы.

Лесопастбищные угодья разного типа по кормовой продуктивности имеют превосходство по сравнению с открытым степным участком, где процессы деградации и снижение кормозапаса продолжаются ускоренными темпами.

Эффективность и долговечность насаждений на лесомелиорированных пастбищах зависят от правильного подбора пород, от их экологических и биологических свойств. В Западной Прикаспии это *Robinia pseudoacacia* и *Ulmus pumila*, которые хорошо растут, развиваются и поедаются животными.

Наиболее продуктивными являются лесопастбища с широкополосными насаждениями, где урожайность травяного полога за вегетационный период составляет 1,31 т/га, запас веточно-лиственной массы на высоте срамливания 1,2...1,7 м — 433,3 кг/га.

Продуктивность и питательность веточного корма не снижается в жаркие летние месяцы, древесные насаждения продолжают наращивать массу в течение всего вегетационного периода.

За весь период вегетации по всем типам лесомелиорированных насаждений кормовая продуктивность веточно-лиственной массы вязовых и робиневых насаждений на высоте срамливания 1,2...1,7 м составляет 842,2 кг/га дополнительного корма.

Питательная ценность веточного корма по всем образцам составляет 0,26...0,29 кормовых единиц, содержание перевариваемого протеина 25,64...35,18 г.

Библиографический список

1. Сурхаев Г.А., Сивцева С.Н., Вдовенко А.В. Мониторинговая оценка состояния Кизлярских пастбищ и эффективные методы их мелиорации // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4(20). С. 258—262.
2. Gasanov G.N., Asvarova T.A., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Abdulaeva A.S., Ahmedova Z.N., Salikhov Sh.K. Species composition and productivity of pasture phytocoenoses of the Terek-kuma lowland (the Daghestan Republic) // Растительные ресурсы. 2017. № 53(4). С. 459—479.
3. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121—137. doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-121-137
4. Власенко М.В. Влияние защитных лесных насаждений и микрорельефа на продуктивность кормовых угодий Сарпинской низменности // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 4 (61). С. 99—104.
5. Гребенников В.Г., Лапенко Н.Г., Шипилов И.А., Хонина О.В. Методы повышения продуктивности аридных пастбищ // Аграрная наука. 2020. № 9. С. 70—73. doi: 10.32634/0869-8155-2020-341-9-70-73
6. Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г., Кулик К.Н., Стародубцева Г.П. Опыт лесомелиорации экосистем песчаных массивов Терско-Кумского междуречья // Экосистемы. Экология и динамика. 2019. Т. 3. № 4. С. 5—23.
7. Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. Состояние и динамика продуктивности лесопастбищных угодий на песках Восточного Предкавказья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 161—168. doi: 10.32786/2071-9485-2019-02-19
8. Сивцева С.Н., Рыбашлыкова Л.П. Виды и сорта трав для реставрации пастбищ Восточного Предкавказья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука высшее профессиональное образование. 2018. № 2(50). С. 113—118.
9. Тютюма Н.В., Булахтина Г.К., Кудряшов А.В., Кудряшова Н.И. Мелиоративная эффективность кустарниковых кулис на аридных пастбищах юга России // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 1 (82). С. 62—68.
10. Гребенников В.Г., Шипилов И.А., Хонина О.В. Эффективность ускоренного восстановления низкопродуктивных многолетних кормовых угодий // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1 (13). С. 18—23. doi: 10.25930/0372-3054/003.1.13.2020
11. Крючков С.Н., Маттис Г.Я. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014. 300 с.
12. Касьянов Ф.М. Защитные лесонасаждения для повышения продуктивности лугов и пастбищ // Агролесомелиорация. М.: Лесная промышленность, 1979. С. 132—148.
13. Wésche K., Walther D., von Wehrden H., Hensen I. Trees in the desert: reproduction and genetic structure of fragmented *Ulmus pumila* forests in Mongolian drylands // Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2011. No. 206. Pp. 91—99. doi: 10.1016/j.flora.2010.01.012
14. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
15. Никифорчин, И.В., Ветров Л.С., Вавилов С.В. Таксация леса. СПб.: СПбГПУ, 2011. 242 с.

References

1. Surhaev GA, Sivtseva SN, Vdovenko AV. Monitoring of the status Kizlyar pastures and effective methods of their melioration. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015; (4): 258—262. (In Russ.).
2. Gasanov GN, Asvarova TA, Gadzhiev KM, Bashirov RR, Abdulaeva AS, Ahmedova ZN, Salikhov SK. Species composition and productivity of pasture phytocoenoses of the Terek-Kuma lowland (the Daghestan republic). *Rastitelnye Resursy*. 2017; 53(4):459—479. (In Russ.).
3. Erusalimskii VI, Rozhkov VA. Multifunctional role of protective forest plantations. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2017; (88):121—137. (In Russ.). doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-121-137
4. Vlasenko MV. Influence of protective forest plantings and microrelief on the productivity of forage lands in the Sarpinskaya lowland. *Arid Ecosystems*. 2014; 4(4):304—308.
5. Grebennikov VG, Lapenko NG, Shipilov IA, Khonina OV. Methods for increasing productivity of arid pastures. *Agrarian Science*. 2020; (9):70—73. (In Russ.). doi: 10.32634/0869-8155-2020-341-9-70-73
6. Surkhaev GA, Surkhaev IG, Kulik KN, Starodubtseva GP. Forest reclamation experience in sandy massifs ecosystems of the Terek-Kuma interfluvium. *Ecosystems: Ecology and dynamics*. 2019; 3(4):5—23. (In Russ.).

7. Rybashlykova LP, Sivceva SN, Maschovikova TF. Condition and dynamics of productivity of forest-pasting eye on sands of Eastern Ciscaucasia. *Proceedings of lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2019; (2):161—168. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2019-02-19
8. Sivceva SN, Rybashlykova LP. The types and varieties of herbs for the restoration of lowland grassland in Eastern Ciscaucasia. *Proceedings of lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2018; (2):112—118. (In Russ.).
9. Tyutyuma NV, Bulakhtina GK, Kudryashov AV, Kudryashova NI. Meliorative efficiency of shrub coulisses in arid pastures of Southern Russia. *Arid ecosystems*. 2020; 10(1):52—57. doi: 10.1134/S2079096120010126
10. Grebennikov VG, Shipilov IA, Khonina OV. Efficiency of accelerated restoration of low-productive perennial forage lands. *Agricultural journal*. 2020; (1):18—23. (In Russ.). doi: 10.25930/0372-3054/003.1.13.2020
11. Kryuchkov SN, Mattis GY. *Lesorazvedenie v zasushlivykh usloviyakh* [Afforestation in arid conditions]. Volgograd: VNIALMI publ.; 2014. (In Russ.).
12. Kasyanov FM. Protective forest plantations for increasing productivity of meadows and pastures. In: *Agrolesomeliatsiya* [Agroforestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' publ.; 1979. p.132—148. (In Russ.).
13. Wesche K, Walther D, von Wehrden H, Hensen I. Trees in the desert: reproduction and genetic structure of fragmented *Ulmus pumila* forests in Mongolian drylands. *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2011; 206(2):91—99. doi: 10.1016/j.flora.2010.01.012
14. Anuchin NP. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' publ.; 1982. (In Russ.).
15. Nikiforchin IV, Vetrov LS, Vavilov SV. *Taksatsiya lesa* [Forest taxation]. St. Petersburg: SPSTU publ.; 2011. (In Russ.).

Об авторах:

Рыбашлыкova Людмила Петровна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель, ФНЦ агроэкологии РАН, Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97; e-mail: ludda4ka@mail.ru
ORCID 0000-0002-3675-6243

Сивцева Светлана Николаевна — научный сотрудник, Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Российская Федерация, 356890, Ставропольский край, Невфтекумский городской округ, с. Ачикулак, ул. Пролетарская, д. 12; e-mail: achikylak356890@mail.ru
ORCID 0000-0003-1068-2677

Маховикова Татьяна Федоровна — научный сотрудник, Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Российская Федерация, 356890, Ставропольский край, Невфтекумский городской округ, с. Ачикулак, ул. Пролетарская, д. 12; e-mail: achikylak356890@mail.ru
ORCID 0000-0001-6316-6866

About Authors:

Rybashlykova Ludmila Petrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading researcher, Laboratory of protective afforestation and phytomelioration of low-yielding lands, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 97 Universitetsky av., Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: ludda4ka@mail.ru
ORCID 0000-0002-3675-6243

Sivceva Svetlana Nikolaevna — Researcher, North Caucasian branch of Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 12 Proletarskaya st., Achikulak vill., Neftekumsky district, Stavropol Territory, 356890, Russian Federation; e-mail: achikylak356890@mail.ru
ORCID 0000-0003-1068-2677

Mahovikova Tatyana Fedorovna — Researcher, North Caucasian branch of Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 12 Proletarskaya st., Achikulak vill., Neftekumsky district, Stavropol Territory, 356890, Russian Federation; e-mail: achikylak356890@mail.ru
ORCID 0000-0001-6316-6866



Агроэкономика Agroeconomics

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-400-408

УДК 332.2

Research article / Научная статья

Assessment of the efficiency of agricultural land use: a case study of France

Andrey N. Zharov  , **Vadim G. Pliushchikov** 

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

 zharov-an@rudn.ru

Abstract. Land is one of the key resources in agricultural production. The use of these resources is significantly different from the use of labor resources and financing. It is the land features that affect the assessment of their use efficiency. The analysis of literary sources has shown, there are a large number of approaches and methods to assess the effectiveness of land resources. This indicates a great interest of researchers and practitioners in the issue under study. Each of the researchers offers their own unique methodology for assessing the efficiency of land use. However, it is impossible to distinguish a single method due to various reasons. Nevertheless, it should be noted that the proposed methods are complementary. The main goal of this study was to assess the effectiveness of agricultural land use in France. In this regard we used following methods: analysis and synthesis, graphical method, method of comparisons. The analysis was carried out in three stages. The dynamics and structure of agricultural lands of the country, the harvested areas of the main groups of agricultural crops were analyzed, both cost and natural indicators were calculated. As a result, we can say that the studied indicators should be used in the express assessment of efficiency, they can also be used in the comparative assessment of the efficiency of agricultural land use. For a deeper assessment, in our opinion, it is necessary to use other methods of analysis.

Key words: France, land resources, efficiency, productivity, arable land, perennial plantings

Article history:

Received: 26 August 2021. Accepted: 18 November 2021.

For citation: Zharov AN, Pliushchikov VG. Assessment of the efficiency of agricultural land use: a case study of France. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):400–408. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-400-408

© Zharov A.N., Pliushchikov V.G., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Introduction

Land, along with labor and capital, is one of the factors of production. In agriculture, on the one hand, land is an object of labor, and on the other, it is a means of production [1]. It has a number of features, among which the following can be distinguished [2]:

- The land has an unlimited service life;
- The amount of land resources is limited;
- The land is not the result of human activity as machinery and equipment. It is given to man by nature;
- Land is an immovable object;
- With proper use, the productivity of the land only increases.

It is the fact that land is different from other factors of production that makes it one of the most valuable resources and requires more efficient use. The question of assessing the efficiency of land use has not arisen today. The studies of both Russian and foreign researchers are devoted to it [3–8]. However, there is no single approach to assessing the efficiency of land use. In our opinion, this is due to several reasons. First, the level that is used in the study. For example, [9–11] assess the efficiency of the use of land resources at the enterprise level while [12–14] assess the efficiency of the use of land resources at the level of a particular region, country or group of countries. Secondly, different approaches to assessment are used. For example, [15, 16] assess the impact of environmental factors, while [17, 18] assess the efficiency of land use from the point of view of tourist and recreational purposes or during construction. Third, and one of the key reasons in our opinion is the study of various categories of land. For example, in [19], the efficiency of the use of agricultural land is assessed, while in [20] — urban land. These reasons make it difficult to develop a unified methodology for assessing the efficiency of land use. In this regard, **the main purpose of this work** was to assess the effectiveness of the use of agricultural land on the example of France.

Materials and methods

The agricultural lands of France were chosen as the object of the research. The database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), which is publicly available, was used as data sources [21]. The data were taken for the period from 2000 to 2019, in some cases from 2000 to 2018.

The study was conducted in three main stages. At the first stage, the structure and dynamics of agricultural land were analyzed. The dynamics of harvested areas of the main groups of agricultural crops was analyzed. At the second stage, cost indicators were studied, such as: the gross production value of agriculture per 1 ha, the cost of individual types of products per 1 ha. At the third stage, the dynamics of natural indicators were analyzed, such as the yield of the main types of agricultural crops, as well as the production of the main types of livestock products per 1 thousand hectares of agricultural land.

Results and discussion

The French Republic is one of the largest countries in Western Europe, it has maritime spaces. It borders with such countries as Belgium, Luxembourg, Germany, Switzerland,

Monaco, Italy, Spain, Andorra, Great Britain. The total area of the country is 54908.7 thousand hectares [21]. The territory of the country includes both plains and low mountains (located mainly in the north and west of the country), medium-high mountains (in the central regions and in the east), mountain ranges (in the southwest and southeast). Analyzing the structure of the land resources of France, we can note the following (fig. 1). As we can see, the main part (more than 50 %) is occupied by agricultural land, although its share is slightly decreasing. The share of forests accounts for 31 %, while there is an increase in it in dynamics. The share of other lands is also decreasing and is 16 % in 2019. The percentage of inland waters accounts for less than 0.3 %.

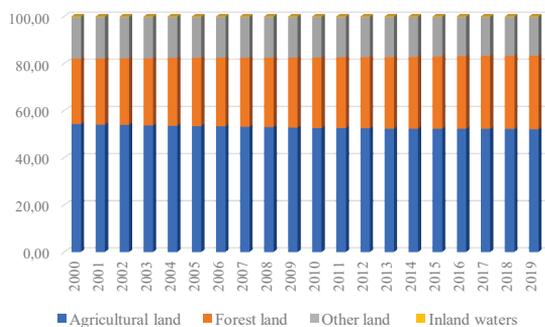


Fig. 1. Dynamics of the structure of French land resources in 2000–2019, %

Source: compiled by the author according to [21]

The composition of agricultural land includes such lands as: arable land, land under permanent crops, meadows and pastures. The dynamics of these types of land in France in the period from 2000 to 2019 is shown in Fig. 2. During the analyzed period, there is a slight reduction in the area of both arable land and land under permanent crops and meadows and pastures. The area of arable land decreased by 289 thousand hectares or 2 %, the area under permanent crops decreased by 130 thousand hectares or 12 %, the area of meadows and pastures decreased by 766 thousand hectares or 8 %.

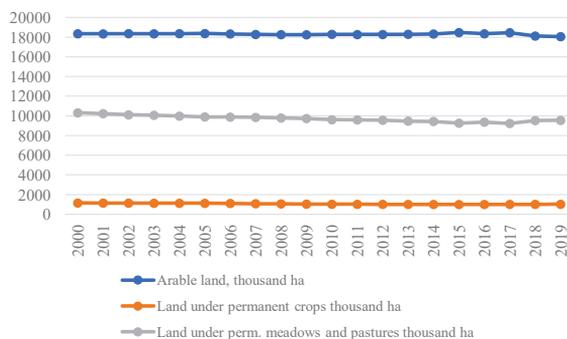


Fig. 2. Dynamics of the main types of agricultural land in France in 2000–2019, thousand hectares.

Source: compiled by the author according to [21]

An important indicator that characterizes the efficiency of land use is the indicator of the harvested area for a particular crop. Fig. 3 shows data on the harvested areas of the main groups of agricultural crops.

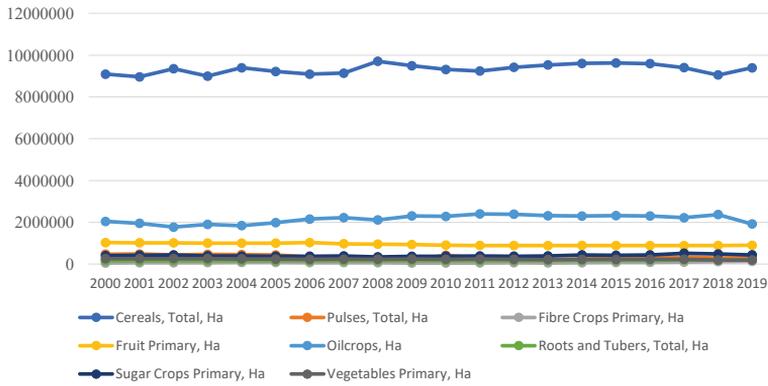


Fig. 3. Dynamics of harvested areas of the main groups of agricultural crops in France in 2000–2019, ha. Source compiled by the author according to FAO data

The largest sizes of harvested areas are observed for cereals. At the same time, if we analyze their structure in 2019, we note the dominance of wheat (55 %), barley (20 %), corn (16 %). In dynamics, there is a decrease in the share of wheat, corn and an increase in the share of barley. The second group of crops, according to the harvested area, consists of oilseeds. If in 2000 the harvested area under these crops amounted to 2,041,593 hectares, then in 2019—1,924,560 hectares. The main share is occupied by rapeseed (57 % of the harvested area), while the smallest share belongs to the coconut palm (0.01 %). The third group of crops by the harvested area is fruit primary. In 2019, 901,070 hectares were occupied under this group of crops, which is 126,954 hectares less than in 2000. The harvested areas of the remaining crop groups range from 136,220 hectares (Fibre Crops Primary) to 312,810 hectares (Pulses). The values of the Gross Production Value indicator (in 2014–2016 prices) per 1 ha of Agricultural land are shown in Fig. 4.

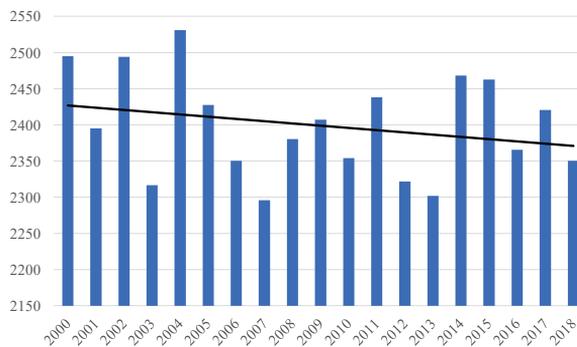


Fig. 4. Dynamics of the gross production value of agriculture of France per hectare in 2000–2018, \$/ha. Source: compiled according to the author’s calculations according to FAO data

Therefore, the values of this indicator are decreased by 145 \$/ha. The dynamics of the Gross Production Value of main groups of corps per 1 ha of agricultural land (in 2014—2016 prices) is shown in Fig. 5. The figure shows that the highest value of the calculated indicator falls on roots and tubers, and the lowest — on cereals. Analyzing the dynamics for the main groups of crops, we note that the values have practically not changed.

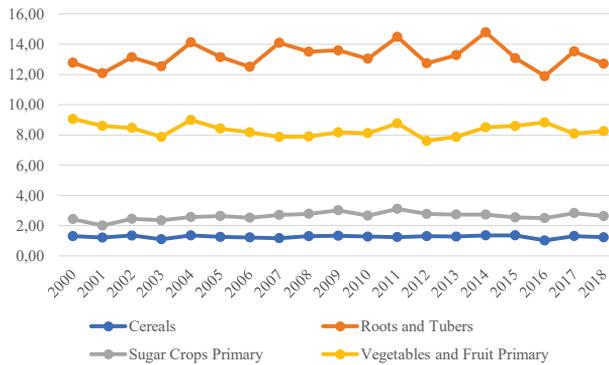


Fig. 5. Dynamics of the cost of certain types of products per 1 ha harvested area in France in 2000–2018, thousand dollars/ha (in 2014–2016 prices). Source: compiled by the author according to FAO data

The dynamics of the yield of the main groups of agricultural crops is shown in Fig. 6.

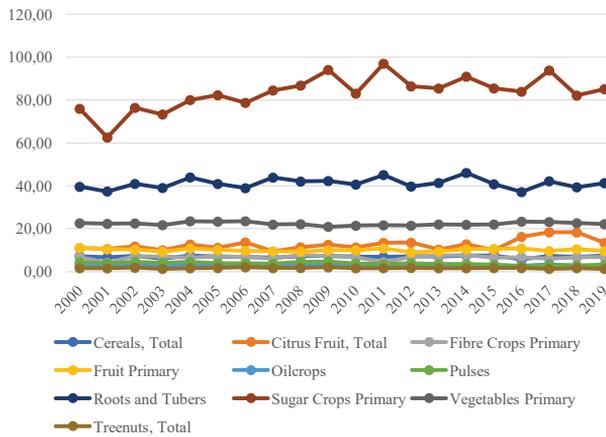


Fig. 6. Dynamics of yield of the main groups of agricultural crops in France in 2000–2019, tons/ha. Source: compiled by the author according to FAO data

As the figure indicates, Sugar Crops Primary have the highest yield. In 2000—2019, the yield of this group of crops increased by 12 %. The yield of Roots and Tubes increased by 5 %. The yield of Vegetables Primary decreased by 2 %.

The dynamics of the main groups of livestock products per 1,000 hectares are shown in Fig. 7.

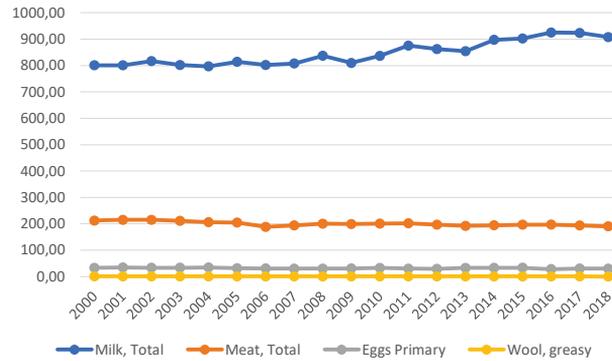


Fig. 7. Dynamics of production of the main types of livestock products per 1 thousand hectares of agricultural land in France in 2000–2018, tons/1000 hectares. Source: compiled by the author according to FAO data

Therefore, 800 tons of milk, 190 tons of meat, 30 tons of eggs and 0.5 tons of wool accounted for 1000 hectares in 2018. At the same time, in dynamics, we note an increase in the yield of milk per 1000 hectares and a reduction in the yield of meat, eggs, wool per 1000 hectares.

Conclusions

Summing up, we can draw the following conclusions. First, to assess the efficiency of land use, it is necessary to apply not one, but a group of indicators. Secondly, the considered indicators can be used for express assessment of the efficiency of the use of agricultural land resources in connection with their availability. For a more complete assessment of the efficiency of agricultural land use, it is necessary to use other indicators.

References

1. Oganessian LO, Fedyunina EN. The specifics of the functioning of the land market as a factor of production. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2012; 5(91) p.132–136. (In Russ.).
2. Vylegzhanina LO, Kuklin AV. About the main theoretical provisions of the land market. In: *Economic aspects of Russia's development: micro- and macro-level: conference proceedings*. Kirov. 2020, p. 227–233. (In Russ.).
3. Demina NF, Bulygina SA. Methodological approaches to assessing the efficiency of land resources use in the agricultural sector. In: *Science and education: experience, problems, development prospects: conference proceedings*. 2015. p.315–318.
4. Sokolov VA, Aleksandrova EV. Evaluation of the efficiency of land resources use. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2014; (4):47–49. (In Russ.).
5. Artemyev AA, Lazareva OS. Land administration through the use of digital technologies. *Zhurnal issledovaniy po upravleniyu*. 2020; 6(5):37–47. (In Russ.).
6. Volochaev AS, Nedikova EV. Land resources management based on statistical data. In: *Innovative technologies and technical means for agriculture: conference proceedings*. Voronezh; 2019. p.167–170. (In Russ.).
7. Dzhonaloev MS. Land — the main production equipment in the agriculture. *Bulletin of the Tajik National University. Series of economic and social sciences*. 2020; (7):45–50. (In Russ.).
8. Ukolov AI, Polunin GA. Integral method of intensity estimation use of sown areas. *AIC: economics, management*. 2021; (2):26–32. (In Russ.). doi: 10.33305/212-26
9. Kosenko TG. Evaluation of the effectiveness of the use of land resources of the enterprise. *Successes of modern science and education*. 2015; (4):37–39. (In Russ.).

10. Vinnik OG. Evaluation of the efficiency of the use of land resources in agricultural organizations in the ecologically destabilized regions of the Gomel region. In: *Strategy and tactics of development of production and economic systems: conference proceedings*. The Ministry of Education of the Republic of Belarus; 2007. p.195—198. (In Russ.).
11. Kosnikov SN. Economic evaluation use of agricultural land use in specialized organizations of agriculture sector in Krasnodar region. *BarSU. Series: Historical sciences and Archeology, Economics, Law*. 2015; (3):88—93. (In Russ.).
12. Byastinova LM. Substantiation of methods for assessing the efficiency of land use in the agriculture of the Republic of Sakha (Yakutia). *Tomsk State University Journal of Economics*. 2020; (52):104—118. (In Russ.). doi: 10.17223/19988648/52/7
13. Tashmatov RK. Estimation of the efficiency of land resources use in the regions. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2017; (8—2):1120—1125. (In Russ.).
14. Budazhanaeva MT. Assessment of the efficiency of the use of land resources of the agro-industrial complex in the Republic of Buryatia. In: *Baikal economic readings. socio-economic development of the regions: problems and prospects: materials of the international conference proceedings*. 2016; p.79—81. (In Russ.).
15. Yurlova VA, Gagarin AI. Effect of environmental factors on the efficient land use. *Interexpo GEO-Siberia*. 2012; 1(3):216—221. (In Russ.).
16. Dubovitsky AA, Klimentova EA. Ecological and economic efficiency of land use: methodical aspect. *Economics of agriculture of Russia*. 2020; (5):2—6. (In Russ.). doi: 10.32651/205-2
17. Bukreev IA. Theoretical and methodological features of the assessment of natural resources for touristic and recreational purposes. *Russian Journal of Economic Theory*. 2019; 16(1):101—110. (In Russ.). doi: 10.31063/2073-6517/2019.16-1.9
18. Sarsenbiev NS. Efficiency assessment methodology land allotment under construction transit highway. *Nauka i novye tekhnologii*. 2013; (1):22—24. (In Russ.).
19. Stolyarova MA, Zherdeva OV. Advancement of the methodology for assessment of utilization efficiency of the farming land resources. *Theory and practice of social development*. 2013; (7):212—215. (In Russ.).
20. Volodchenkov IV. Use of urban land resources: on the approaches to evaluation of economic effectiveness. *Problems of modern economics*. 2010; (3):360—362. (In Russ.).
21. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <http://www.fao.org/home/en/> [Accessed 1st August 2021].

About the authors:

Zharov Andrey Nikolaevich — Candidate of Economic Sciences, Docent, Department of Technosphere safety, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: zharov-an@rudn.ru
ORCID 0000-0002-4068-609X; SPIN code: 3948-4243

Plyushchikov Vadim Gennadievich — Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Technosphere Safety Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru
ORCID 0000-0003-2057-4602; SPIN code: 7923-0020

Оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения на примере Франции

А.Н. Жаров  , В.Г. Плющиков 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 zharov-an@rudn.ru

Аннотация. Земельные ресурсы являются одними из ключевых в сельскохозяйственном производстве. Особенности, присущие земельным ресурсам, накладывают отпечаток на оценку эффективности их использования в отличие от трудовых ресурсов и капитала. Как показал анализ литературы, существует

большое количество подходов и методов к оценке эффективности земельных ресурсов, что говорит о большом интересе исследователей и практиков к изучаемому вопросу. Каждый из исследователей предлагает свою уникальную методику оценки эффективности использования земельных ресурсов. Эти методики являются взаимодополняемыми. Цель исследования — анализ эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения во Франции. Применили методы синтеза и анализа, графический метод, метод сравнения. Анализ проводился в три этапа на основе как стоимостных, так и натуральных показателей. Исследованы динамика и структура земель сельскохозяйственного назначения страны, убранные площади основных групп сельскохозяйственных культур рассчитаны как стоимостные, так и натуральные показатели. Вывод: по рассмотренным показателям необходимо проводить экспресс-оценку эффективности, их можно также применять для сравнительной оценки эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения. Более глубокую оценку, на наш взгляд, необходимо проводить с помощью более широкого спектра аналитических приемов.

Ключевые слова: Франция, земельные ресурсы, эффективность, урожайность, пашня, многолетние насаждения

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 26 августа 2021 г., принята к публикации 18 ноября 2021 г.

Для цитирования: Zharov A.N., Pliushchikov V.G. Assessment of the efficiency of agricultural land use: a case study of France // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 400—408. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-400-408

Библиографический список

1. Оганесян Л.О., Федюнина Е.Н. Специфика функционирования рынка земли как фактора производства // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 5 (91). С. 132—136.
2. Выегжанина Л.О., Куклин А.В. Об основных теоретических положениях рынка земли // Экономические аспекты развития России: микро- и макроуровни: сборник материалов XIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров, 2020. С. 227—233.
3. Демина Н.Ф., Булыгина С.А. Методические подходы к оценке эффективности использования земельных ресурсов в аграрном секторе // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. материалы XIV международной научно-практической конференции / Ответственные за выпуск: А.А. Кондрашев, Е.И. Сорокагая. 2015. С. 315—318.
4. Соколов В.А., Александрова Е.В. Оценка эффективности использования земельных ресурсов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4 (41). С. 47—49.
5. Артемьев А.А., Лазарева О.С. Управление земельными ресурсами на основе применения цифровых технологий // Журнал исследований по управлению. 2020. Т. 6. № 5. С. 37—47.
6. Волочаев А.С., Недикова Е.В. Управление земельными ресурсами на основе статистических данных // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. 2019. С. 167—170.
7. Джоналоев М.С. Земля — главное средство производства в сельском хозяйстве // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. 2020. № 7. С. 45—50.
8. Уколов А.И., Полунин Г.А. Интегральный метод оценки интенсивности использования посевных площадей // АПК: Экономика, управление. 2021. № 2. С. 26—32. doi: 10.33305/212—26
9. Косенко Т.Г. Оценка эффективности использования земельных ресурсов предприятия // Успехи современной науки и образования. 2015. № 4. С. 37—39.
10. Винник О.Г. Оценка эффективности использования земельных ресурсов сельскохозяйственных организаций эколого-дестабилизированных регионов гомельской области. // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем: Тезисы докладов V Международной научно-практической конференции. Министерство образования Республики Беларусь, 2007. С. 195—198.
11. Косников С.Н. Экономическая оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения в специализированных организациях агропромышленного комплекса Краснодарского края // Вестник Барановичского государственного университета. Серия: Исторические науки и археология, Экономические науки, Юридические науки. 2015. № 3. С. 88—93.

12. *Бястинова Л.М.* Обоснование методов оценки эффективности использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве республики Саха (Якутия) // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 52. С. 104—118. doi: 10.17223/19988648/52/7
13. *Таиматов Р.Х.* Оценка эффективности использования земельных ресурсов в регионах // Экономика и предпринимательство. 2017. № 8—2 (85). С. 1120—1125.
14. *Будажанаева М.Ц.* Оценка эффективности использования земельных ресурсов АПК Республики Бурятия // Байкальские экономические чтения. Социально-экономическое развитие регионов: проблемы и перспективы: материалы международной научно-практической конференции. 2016. С. 79—81.
15. *Юрлова В.А., Гагарин А.И.* О необходимости учета влияния экологических факторов при оценке эффективности использования земельных ресурсов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 1. № 3. С. 216—221.
16. *Дубовицкий А.А., Климентова Э.А.* Эколого-экономическая эффективность использования земельных ресурсов: методический аспект // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 5. С. 2—6. doi: 10.32651/205-2
17. *Букреев И.А.* Теоретические и методические особенности оценки природных ресурсов туристско-рекреационного назначения // Журнал экономической теории. 2019. Т. 16. № 1. С. 101—110. doi: 10.31063/2073-6517/2019.16—1.9
18. *Сарсенбиев Н.С.* Методика оценки эффективности использования земельных отводов при строительстве транзитной магистральной автодороги // Наука и новые технологии. 2013. № 1. С. 22—24.
19. *Столярова М.А., Жердева О.В.* Совершенствование методики оценки эффективности использования земельных ресурсов сельскохозяйственного назначения // Теория и практика общественного развития. 2013. № 7. С. 212—215.
20. *Володченков И.В.* О подходах к оценке экономической эффективности использования городских земельных ресурсов // Проблемы современной экономики. 2010. № 3 (35). С. 360—362.
21. Food and Agriculture Organisation of The United Nations. Available from: <http://www.fao.org/home/en/> [Access: 01/08/2021].

Об авторах:

Жаров Андрей Николаевич — кандидат экономических наук, доцент департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: zharov-an@rudn.ru
ORCID 0000-0002-4068-609X; SPIN code: 3948-4243

Плющиков Вадим Геннадьевич — доктор сельскохозяйственных наук, директор департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru
ORCID 0000-0003-2057-4602; SPIN code: 7923-0020