

ISSN 2500-0047

НАУЧНО-АГРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC AGRONOMY
JOURNAL

4 (119) 2022



12+

ISSN 2500-0047

НАУЧНО-АГРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**SCIENTIFIC AGRONOMY
JOURNAL**

4 (119) 2022

Волгоград
2022

Научно-агрономический журнал

Научно-практический журнал

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)

Главный редактор: Кулик К.Н., д.с.-х.н., профессор, академик РАН

Журнал с 25.05.2022 г. включен в «Перечень рецензируемых научных изданий ВАК»
по следующим научным специальностям и отраслям науки:

- 1.5.15. – Экология (сельскохозяйственные науки),
- 4.1.1. – Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),
- 4.1.2. – Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки),
- 4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение,
лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

Редакционный совет:

Беляев А.И., д.с.-х.н., профессор, ФНЦ агроэкологии РАН, Россия
Беленков А.И., д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Россия
Еремин Г.В., д.с.-х.н., академик РАН, Крымская ОСС – филиал ВИР, Россия
Кружилин И.П., д.с.-х.н., профессор, академик РАН, ФГБНУ ВНИИОЗ, Россия
Мелихов В.В., д.с.-х.н., член-корреспондент РАН, ФГБНУ ВНИИОЗ, Россия
Муканов Б.М., д.с.-х.н., профессор, КазНИИЛХА, Республика Казахстан
Рулёв А.С., д.с.-х.н., профессор, академик РАН, ФГБНУ ВНИИОЗ, Россия
Сложенкина М.И., д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Поволжский НИИММП», Россия
Турусов В.И., д.с.-х.н., академик РАН, ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева», Россия
Чекмарев П.А., д.с.-х.н., академик РАН, НО Ассоциация союзов отраслевых АПК России, Россия

Редакционная коллегия:

Барабанов А.Т., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Оконов М.М., д.с.-х.н., ФГБОУ ВО КалмГУ
Беляков А.М., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Петров Н.Ю., д.с.-х.н., ФГБОУ ВО ВолГАУ
Борисенко И.Б., д.т.н., ФГБОУ ВО ВолГАУ	Питоня А.А., к.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН
Воронина В.П., д.с.-х.н., к.б.н., ФГБОУ ВО ВолГАУ	Рахимжанов А.Н., к.с.-х.н., ТОО «КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана», Республика Казахстан
Гурова О.Н., к.с.-х.н., Комитет с/х Волгоградской обл.	Сагалаев В.А., д.б.н., ФГБОУ ВО ВолГУ
Желтобрюхов В.Ф., д.т.н., ФГБОУ ВО ВолГТУ	Салугин А.Н., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН
Зеленев А.В., д.с.-х.н., ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева	Смутнев П.А., к.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН
Зеленская Г.М., д.с.-х.н., ФГБОУ ВО Донской ГАУ	Солонкин А.В., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН
Иванцова Е.А., д.с.-х.н., ФГАОУ ВО ВолГУ	Срослова Г.А., к.б.н., ФГАОУ ВО ВолГУ
Иванченко Т.В., к.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Трещевская Э.И., д.с.-х.н., Воронежский ГЛУ имени Г.Ф. Морозова
Калмыкова Е.В., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Турчин Т.Я., д.с.-х.н., филиал ФБУ ВНИИЛИМ
Кошелев А.В., к.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Тютюма Н.В., д.с.-х.н., ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»
Крючков С.Н., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Фомин С.Д., д.т.н., ФГБОУ ВО ВолГАУ
Кулик А.К., к.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	Юферев В.Г., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН
Манаенков А.С., д.с.-х.н., ФНЦ агроэкологии РАН	
Нефедьева Е.Э., д.б.н., ФГБОУ ВО ВолГТУ	

Ответственный редактор Леонтьева Е.Е.

Перевод на английский: Хныкин А.С.

Адрес издателя и редакции: 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97

E-Mail: info@vfanc.ru <https://vfanc.ru/>

© ФНЦ агроэкологии РАН

© Научно-агрономический журнал

Регистрационный номер ПИ № ФС77-76293 от 12 июля 2019 г. присвоен Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN 2500-0047

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.000

Печатается в копировально-множительном бюро ФНЦ агроэкологии РАН

Адрес: 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97

Тираж 500 экз. Заказ 11, подписано в печать 23 декабря 2022 г. Дата выпуска 26 декабря 2022 г.

Журнал выходит 4 раза в год и распространяется по адресной рассылке,
а также на выставках и ярмарках агропромышленной тематики. Цена свободная.

Подписной индекс ПР354

Издатель не несет ответственности за достоверность данных, предоставленных в опубликованных материалах.
При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Scientific Agronomy Journal

Research and Practice Journal

Founder and publisher: Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»
(FSC of Agroecology RAS)

Editor-in-Chief: **Kulik K.N.**, D.S-Kh.N., Professor, Academician of RAS

In 25.05.2022, the journal was included in the List of publications of the Higher Attestation Commission in the following specialties and fields of science:

- 1.5.15. – Ecology (agricultural sciences),
- 4.1.1. – General agriculture and crop production (agricultural sciences),
- 4.1.2. – Breeding, seed production and plant biotechnology (agricultural sciences),
- 4.1.6. – Forest science, forestry, forest cultures, agroforestry melioration, greening, forest pyrology and taxation (agricultural sciences)

Editorial Council:

Belyaev A.I., D.S-Kh.N., Professor, FSC of Agroecology RAS, Russia
Belentsov A.I., D.S-Kh.N., Professor, RSAU-MTAA named after K.A. Timiryazev, Russia
Eremkin G.V., D.S-Kh.N., Academician of RAS, Krymsk experimental breeding station – branch of the VIR, Russia
Kruzhilin I.P., D.S-Kh.N., Professor, Academician of RAS, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, Russia
Melikhov V.V., D.S-Kh.N., RAS corr. member, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, Russia
Mukanov B.M., D.S-Kh.N., Professor, Academician of NAS of Kazakhstan, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Scientific Consultant, Republic of Kazakhstan
Rulev A.S., D.S-Kh.N., Professor, Academician of RAS, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, Russia
Slozhnikina M.I., D.B.N., Professor, RAS corr. member, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (VRIMMP), Russia
Turusov V.I., D.S-Kh.N., Academician of RAS, Voronezh FANC named after V. V. Dokuchaev, Russia
Chekmarev P.A., D.S-Kh.N., Academician of RAS, BUT the Association of Unions of industrial agro-industrial complex of Russia

Editorial Board:

Barabanov A.T., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Belyakov A.M., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Borisenko I.B., D.T.N., Volgograd State Agrarian University
Voronina V.P., D.S-Kh.N., K.B.N., Volgograd State Agrarian University
Gurova O.N., K.S-Kh.N., Com. of Agriculture of the Volgograd region
Zheltobrukhov V.F., D.T.N., Volgograd State Technical University
Zelenev A.V., D.S-Kh.N., RSAU-MTAA named after K.A. Timiryazev
Zelenskaya G.M., D.S-Kh.N., Don State Agrarian University
Ivantsova E.A., D.S-Kh.N., Volgograd State University
Ivanchenko T.V., K.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Kalmykova E.V., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Koshelev A.V., K.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Kryuchkov S.N., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Kulik A.K., K.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Manayenkov A.S., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Nefed'eva E.E., D.B.N., Volgograd State Technical University
Okonov M.M., D.S-Kh.N., Kalmyk State University
Petrov N.Yu., D.S-Kh.N., Volgograd State Agrarian University
Pitonya A.A., K.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Rakhimzhanov A.N., K.S-Kh.N., Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry
Sagalayev V.A., D.B.N., Volgograd State University
Salugin A.N., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Smutnev P.A., K.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Solonkin A.V., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS
Sroslova G.A., K.B.N., Volgograd State University
Treshchevskaya E.I., D.S-Kh.N., Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov
Turchin T.Ya., D.S-Kh.N., branch of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry
Tyutyuma N.V., D.S-Kh.N., Caspian Agrarian FSC of RAS
Fomin S.D., D.T.N., Volgograd State Agrarian University
Yuferev V.G., D.S-Kh.N., FSC of Agroecology RAS

Managing Editor: Leontyeva E.E.

Translation into English: Khnyckin A.S.

Publisher's Address: 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97

e-mail: info@vfanc.ru <https://vfanc.ru/>

© FSC of Agroecology RAS

© Scientific Agronomy Journal

In the registration of registers, the entry PI number FS77-76293 dated July 12, 2019.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies and Mass Communications

ISSN 2500-0047

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.000

Published by FSC of Agroecology RAS

Address: 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97

Circulation 500 copies. Order 11, signed to print on 23 December 2022. Date of issue 26 December 2022

The journal is published 4 times a year and distributed through an address list and at agro-industrial exhibitions and fairs.

The price is free. Subscription index ПП354

The publisher is not responsible for the credibility of the data in the published materials.

Reprints of the materials must include a reference to the journal.

Содержание

Content

<i>Информация</i>	5
<i>Экология</i>	
А.Н. Берденгалиева, В.В. Дорошенко. Пространственное распределение сорных понижений на юге европейской России по данным дистанционного зондирования.....	6
А.А. Васильченко. Пространственный анализ инфраструктуры орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области.....	12
Е.С. Яценко, Е.А. Лейтес, В.А. Петухов, Г.К. Клочков, А.В. Ермакова. Разработка безопасного гербицида на основе растительного сырья.....	19
В.В. Дорошенко, В.В. Балынова. Оценка современных процессов опустынивания в Республике Дагестан на примере локального песчаного массива.....	24
<i>Земледелие, растениеводство</i>	
А.В. Федотова, Л.В. Яковлева, А.Х. Хасанова, К.И. Сизоненко, Э.В. Спасенков. Изучение влияния факторов опустынивания на всхожесть семян Пырея удлинённого (<i>Agropyron elongate</i>) и Житняка (<i>Agropyron</i>).....	30
С.В. Григорьев, К.В. Илларионова, Т.В. Шеленга. Содержание ряда фенолсодержащих метаболитов в волокне хлопчатника (<i>G. hirsutum</i> L.), выращенного в Южном ФО РФ.....	39
<i>Агролесомелиорация</i>	
Г.А. Сурхаев, Г.М. Сурхаева. Эколого-биологические аспекты формирования пастбищезащитных насаждений в фитомелиорации Западного Прикаспия.....	44
И.Н. Алиев, В.П. Воронина, З.Х. Хамарова, Ж.Х. Бакуев. Лесная рекультивация техногенно-нарушенных земель в центральной части Северного Кавказа.....	50
А.И. Петелько, А.В. Выпова. Показатели водного баланса на различных агрофонах в лесостепной зоне Нечерноземья.....	58
В.В. Балынова. Геоинформационный анализ параметров сохранности защитных лесных насаждений Котельниковского района Волгоградской области.....	66
<i>Селекция, семеноводство</i>	
С.Н. Крючков, А.В. Солонкин, А.П. Иозус, А.С. Соломенцева, С.А. Егоров. Эффективность полимерных и мульчирующих материалов при создании селекционных плантаций дуба в сухой степи.....	72
А.П. Иозус, А.А. Завьялов, С.Н. Крючков. Оценка отобранного генофонда <i>Pinus sylvestris</i> L. по росту полусибсов.....	81
О.А. Никольская, А.В. Солонкин, Г.В. Касьянова. Продуктивность сортов абрикоса в условиях Волгоградской области.....	88
<i>Молекулярная селекция</i>	
А.А. Желтова, А.С. Попова, В.Г. Зайцев. Использование солей и наночастиц серебра для поверхностной стерилизации семян ячменя перед прорастиванием <i>in vitro</i>	94
С.В. Матвеева, Т.С. Бабакова, М.С. Какоткина, Н.П. Фефелова, А.А. Васильева, В.Г. Зайцев. Эффекты солевого стресса на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакация.....	101
<i>Биотехнология растений</i>	
И.В. Могилевская, С.В. Мельник. Искусственный мутагенез как инструмент для получения полиплоидных форм древесных растений.....	108
Е.Л. Гричик, О.О. Жолобова. Влияние скарификации на кинетику прорастания семян с твердыми покровами некоторых видов рода <i>Gleditsia</i> при генеративном размножении.....	115
<i>От редакции</i>	122

<i>Information</i>	5
<i>Ecology</i>	
A.N. Berdengalieva, V.V. Doroshenko. Spatial Distribution of Sor Depressions in the South of European Russia According to Remote Sensing Data.....	6
A.A. Vasilchenko. Spatial Analysis of the Volga-Akhtuba Floodplain Irrigated Fields Infrastructure in the Volgograd Region.....	12
E.S. Yatsenko, E.A. Leites, V.A. Petukhov, G.K. Klochkov, A.V. Ermakova. Safe Herbicide Development Based on Plant Raw Materials.....	19
V.V. Doroshenko, V.V. Balynova. Assessment of Contemporary Desertification Processes in the Republic of Dagestan on the Example of a Local Sand Massif.....	24
<i>Land cultivation, crop production</i>	
A.V. Fedotova, L.V. Yakovleva, A.Kh. Khasanova, K.I. Sizonenko, E.V. Spasenkov. Study of the Desertification Factors Effect on Seeds Germination of Tall Wheatgrass (<i>Agropyron elongate</i>) and Couch grass (<i>Agropyron</i>).....	30
S.V. Grigoriev, K.V. Illarionova, T.V. Shelenga. The Content of a Number of Phenol-Containing Metabolites in Cotton Fiber (<i>G. hirsutum</i> L.) Grown in the Southern Federal District of the Russian Federation.....	39
<i>Agroforestry melioration</i>	
G.A. Surkhaev, G.M. Surkhaeva. Ecological and Biological Aspects of the Pasture-Protective Elm Plantations Formation in the Phytomelioration of the Western Near-Caspian Region.....	44
I.N. Aliyev, V.P. Voronina, Z.H. Khamarova, Zh.Kh. Bakuev. Forest Revegetation of Technogenically Disturbed Lands in the Central Part of the North Caucasus.....	50
A.I. Petel'ko, A.V. Vypova. Indicators of Water Balance at Various Agrobackgrounds in the Forest-Steppe Zone of the Non-Chernozem Region.....	58
V.V. Balynova. The Kotelnikovskiy District of the Volgograd Region Protective Forest Plantations Preservation Parameters Geoinformation Analysis.....	66
<i>Breeding, seed production</i>	
S.N. Kryuchkov, A.V. Solonkin, A.P. Iozus, A.S. Solomentseva, S.A. Egorov. The Effectiveness of Polymer and Mulching Materials in the Breeding Oak Plantations Creation in the Dry Steppe.....	72
A.P. Iozus, A.A. Zavyalov, S.N. Kryuchkov. Evaluation of the <i>Pinus Sylvestris</i> L. Selected Gene Pool By the Semi-Sibs Growth.....	81
O.A. Nikol'skaya, A.V. Solonkin, G.V. Kas'yanova. Apricot Varieties Productivity in the Conditions of Volgograd Region.....	88
<i>Molecular breeding</i>	
A.A. Zheltova, A.S. Popova, V.G. Zaitsev. The Use of Salts And Nanoparticles of Silver for Barley Seeds Surface Sterilization Before Germination <i>In Vitro</i>	94
S.V. Matveeva, T.S. Babakova, M.S. Kakotkina, N.P. Fefelova, A.A. Vasilieva, V.G. Zaitsev. Salt Stress Effects on <i>Robinia Pseudoacacia</i> Seed Germination and Early Development Stages of Seedlings.....	101
<i>Plant biotechnology</i>	
I.V. Mogilevskaya, S.V. Melnik. Artificial Mutagenesis As a Tool for Obtaining Polyploid Forms of Woody Plants.....	108
E.L. Grichik, O.O. Zholobova. The Scarification Effect on the Kinetics of Some <i>Gleditsia</i> Species Genus Seeds With Hard Covers Germination During Generative Reproduction.....	115
<i>From the editorial board</i>	122

В ФНЦ агроэкологии РАН состоится научно-практическая конференция с международным участием «Охрана и комплексное использование водных ресурсов»

ФНЦ агроэкологии РАН – уникальный в России научный центр с почти столетней историей. Цель создания Центра – получение новых знаний по рациональному использованию сельскохозяйственных угодий, по процессам деградации земель и их предотвращению с использованием научно обоснованных видов и объемов комплексных мелиораций на основе аэрокосмических методов исследований и ГИС-технологий для повышения плодородия почв, устойчивости производства сельскохозяйственной продукции и развития сельских территорий в условиях глобальных и региональных изменений климата, проявления экстремальных природных аномалий.

На базе Федерального научного центра в 2023 году состоится научно-практическая конференция с международным участием «Охрана и комплексное использование водных ресурсов». Мероприятие объединит на одной площадке ученых со всей России, представителей проектных организаций, органов власти, которые работают в области водохозяйственного комплекса.

В рамках конференции также состоится молодежный форум «Взгляд молодых ученых на проблему охраны и комплексного использования водных ресурсов», в работе которого примут участие 80 молодых ученых с разных уголков России.

Напомним, ранее на базе ФНЦ агроэкологии РАН 22 июля была организована и успешно проведена научно-практическая конференция «Агролесомелиорация и опустынивание», приуроченная к 90-летию Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук.

Ученые России и СНГ могут получить медали имени А.В. Альбенского за выдающиеся научные работы

В целях максимальной активизации деятельности ученых ФНЦ агроэкологии РАН, а также популяризации и распространения их научных достижений, повышения имиджа Федерального научного центра в ноябре 2022 года был подписан приказ и положение о конкурсе имени выдающегося советского учёного, специалиста по агролесомелиорации, лесоведению и лесоводству **Анатолия Васильевича Альбенского** за научные достижения в области агролесомелиорации, защитного лесоразведения и агроэкологии.

Конкурс проводится ежегодно. Результаты будут озвучивать в День Российской науки – 8 февраля. Чтобы принять участие в интеллектуальном состязании, необходимо предоставить материалы в ФНЦ агроэкологии РАН не позднее чем за 1 месяц до присуждения наград.

Для поощрения победителей конкурса учреждены медали:

– большая золотая медаль имени А.В. Альбенского за научные достижения в области агролесомелиорации, защитного лесоразведения и агроэкологии с денежным поощрением в размере 100 тысяч рублей.

– для поддержки, развития и распространения научных достижений молодых ученых в области агролесомелиорации, защитного лесоразведения и агроэкологии учреждена малая золотая медаль имени А.В. Альбенского с денежным поощрением в размере 50 тысяч рублей.

Медали присуждаются ученым Российской Федерации и Содружества независимых государств за выдающиеся научные работы, имеющие крупное теоретическое и практическое значение.

Участникам конкурса необходимо предоставить в установленные сроки следующие материалы:

- Мотивированное представление, включающее научную характеристику работы, определение ее значимости для развития агролесомелиоративной науки и практики;
- Опубликованную научную работу (серию работ), материалы научного открытия или изобретения в трех экземплярах;
- Сведения об авторе: перечень основных научных работ, изобретений, место работы, занимаемая должность, домашний адрес;
- Сведения о том, что предоставляемая на конкурс работа ранее не была удостоена Государственных премий, премий Правительства России и стран СНГ, а также именных премий Российской академии наук.

Пространственное распределение сорových понижений на юге европейской России по данным дистанционного зондирования

Асель Нурлановна Берденгалиева✉, м.н.с., berdengalieva-an@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-5252-7133,

Валерия Витальевна Дорошенко, м.н.с., ORCID: 0000-0003-3253-1132 –

лаборатория геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

В настоящей статье представлены результаты картографирования сорových понижений и солончаков на юге России. Ранее предпринимались исследования отдельных полигонов, но подробное картографирование не проводилось. В связи с тем, что соры и солончаки при картографировании опустынивания могут ошибочно определяться как занятые открытыми песками участки, необходимо их отдельное картографирование для исключения подобных ошибок; также векторная маска сорových и солончаков может быть сразу вычтена из результатов картографирования пожаров в связи с отсутствием горючего материала. Картографирование проводилось на основе результатов визуального дешифрирования материалов космической съемки (Sentinel-2, SRTM3) на территории Астраханской области, Ставропольского края, Республик Дагестан и Калмыкия (Терско-Кумская низменность, Кумо-Маньчская впадина, Сарпинская низменность). На территории исследования располагаются Сарпинские и Маньчские озера, Западные подступные ильмени. В результате картографирования выделено 19 438 векторных объектов общей площадью 240 тыс. га. Более 70% объектов вытянуты в субширотном направлении. Наибольшая выявленная высота составила 6 м относительно окружающей поверхности, наибольшая глубина составила -9 м, около 30% объектов не выражены в рельефе. По результатам картографирования составлена схема пространственного распределения сорových понижений и солончаков на юге европейской России.

Ключевые слова: солончаки, сорových понижения, ГИС-технологии, геоинформационный анализ, дистанционное зондирование, юг России.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100406-6 «Теоретические основы и математико-картографические модели функционирования агролесомелиоративных систем в защите почв от дефляции» и № 122020100405-9 «Картографическое моделирование состояния, функционирования и динамики процессов опустыненных территорий с применением информационных технологий».

Поступила в редакцию: 10.10.2022

Принята к печати: 05.12.2022

Солончаки и соры при дешифрировании материалов космической съемки могут ошибочно распознаваться как открытые пески, что затрудняет оценку динамики процессов опустынивания. В области исследования как опустынивание, так и соры, и солончаки имеют значительное распространение [5, 6, 15]. Исследование являлось продолжением работы по картографированию солончаков и сорových понижений, ранее уже проведенной на территории Астраханской области и Калмыкии [1]; поскольку процессы опустынивания распространены также в Ставропольском крае и Дагестане, то и здесь актуальна задача отделения сорových от опустыненных земель. Целью разработки электронных карт сорových и солончаков является повышение точности картографирования открытых песков и дефлированных территорий, т.к. соры при автоматизированных методах обработки спутниковых изображений часто относятся к этой категории.

Солончак корковый – тип почвы, также лишенной растительного покрова и засоленной (1% водорастворимых солей) в поверхностном горизонте. Сор (соровое понижение) – замкнутое по-

нижение, которое является бессточным и может временно заполняться водой. Дно таких понижений полностью лишено растительного покрова и обычно покрыто солевой коркой [8, 14].

После песчаных бурь сорových понижения могут быть полностью или частично заняты песком, кроме того, соры и солончаки сами являются источниками выноса пыли ветром [9, 10, 12]. Сорových понижения являются естественным препятствием для распространения ландшафтных пожаров [11]. Результаты исследования могут быть применены для уточнения пространственного распределения открытых песков и динамики процессов опустынивания.

Подобные исследования ранее проводились для солонцовых комплексов с точки зрения геоботаники [4]. Показанная в таких исследованиях методика для геоинформационного картографирования сорových и солончаков как геоморфологических структур непригодна. Картографирование сорových понижений и солончаков с использованием не только мультиспектральных спутниковых данных, но и цифровой модели рельефа ранее не предпринималось.

Целью исследования являлось определение пространственного положения и картографирование соров и солончаков на юге европейской части России.

Материалы и методы. Зона исследования охватывала территорию Терско-Кумской низменности, Кумо-Манычской впадины и Сарпинской низменности. Административно область исследования включала в себя северную часть Республики Дагестан, северо-восточную часть Ставропольского края, юго-западную часть Астраханской области и Республику Калмыкия. Данная территория является относительно плоской, здесь располагается ряд соленых озер, в том числе, озера из группы Манычских (Ставропольский край, Республика Калмыкия) и Сарпинских озер (Республика Калмыкия), а также Западные подступные ильмени в Астраханской области [2, 16, 18]. Такие водоемы в большинстве случаев имеют небольшую глубину (до 2 м) и плоское дно, покрываемое коркой соли при высыхании воды, в связи с чем они могут дешифроваться как соровые понижения [1]. Территория исследования, несмотря на довольно большую площадь, имеет однородные физико-географические и климатические условия – среднемноголетнее годовое количество осадков составляет 300-500 мм [7]. Также в данной области располагается множество искусственных водоемов, которые образовались поблизости от ир-

ригационных каналов.

Для проведения картографирования подобраны материалы дистанционного зондирования спутником Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м [17]. Дешифрирование проводилось визуальным методом по композитному изображению в комбинации спектральных каналов «естественные цвета» (сочетание диапазонов спектра, соответствующих красному, зеленому и синему цветам), уточнение границ соров и отслеживание их наполненности водой проводилось по композитным изображениям с использованием инфракрасного диапазона спектра (рис. 1). Использование инфракрасного диапазона также позволяет с большей точностью дифференцировать соры и открытые пески, т.к. в комбинации «естественные цвета» они могут быть визуальными схожи [3]. Сорные понижения и солончаки отличаются более ярким холодным белым цветом, тогда как пески отображаются в светлых оттенках желтого. При картографировании учитывались не только прямые дешифровочные признаки (цвет), но и косвенные – конфигурация и четкость границ, периодическая заполняемость водой. Косвенные дешифровочные признаки не учитываются доступными средствами автоматического дешифрирования, поэтому визуальное дешифрирование дает наиболее точные результаты.

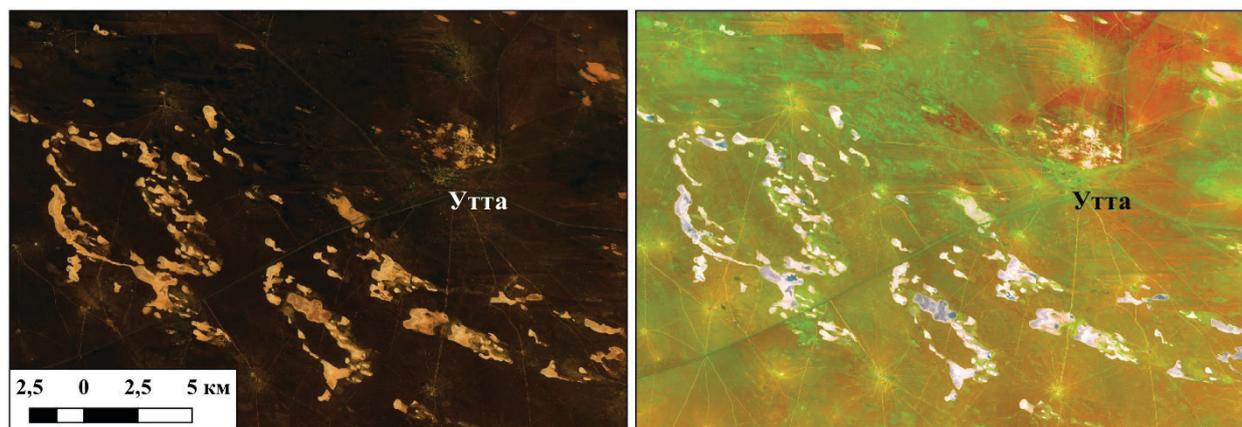


Рисунок 1. Фрагмент космического снимка Sentinel-2 от 26.04.2022: в комбинации каналов «естественные цвета» (слева); с добавлением инфракрасного канала (справа) (46.36500 с.ш., 46.00278°в.д.)

Для выявления ориентации каждого векторного объекта в пространстве использовано соотношение широт и долгот крайних точек. Показатель глубины, рассчитанный с помощью растровых данных цифровой модели рельефа SRTM с высотным разрешением 1 м и пространственным разрешением 1 секунда [17], представляет собой значение высотных отметок большинства пикселей в полигоне и рассчитывается с применением зональной статистики. Для уточнения относительных высот было проведено сравнение рассчитанной глубины внутри полигона со средними высотами окружающей местности в радиусе 200 м от границ полигона

(с использованием буфера границ полигонов).

Обработка материалов космической съемки, геоинформационный анализ, формирование векторных и итоговых схем проводились в программной среде «QGIS». Статистическая обработка полученных данных проводилась в «MS Excel».

Результаты и обсуждение. В результате дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли и последующего картографирования выделено 19 438 объектов, отнесенных к сорам и солончакам (табл. 1). Общая площадь всех объектов составляет 240 524,5 га. Средняя площадь объекта составляет 12,3 га.

Таблица 1 – Распределение соровых понижений и солончаков по регионам РФ

Регион РФ	Количество объектов	Площадь, га	Средняя площадь, га
Астраханская область	1 213	13 818	11,3
Республика Дагестан	7 765	23 290,4	2,9
Республика Калмыкия	4 788	155 899	32,5
Ставропольский край	5 672	47 517,1	8,4

Наиболее крупные соровые понижения и солончаки располагаются на территории Республики Калмыкия и, как правило, являются полностью пересохшими солеными озерами из группы Сарпинских озер или Манычских озер. Большое количество мелких объектов расположено на территории Республики Дагестан и Ставропольского края. Большая часть выявленных соровых понижений и солончаков на территории Астраханской области располагается среди Западных подстепных ильменей. Ранее проведенное картографирование водоемов ильменно-бугрового района позволило отделить существующие ильмени от пересохших [13].

Большую часть площади соров и солончаков (61,3%) составляют 180 объектов с площадью более 200 га. В количественном отношении преобладают объекты площадью менее 10 га (17 410 шт.),

составляющие 89,6% от общего количества.

Для всех объектов была определена пространственная ориентация как соотношение расстояния между крайними точками координат широты и долготы. Около 14% соров и солончаков имеют субмеридиональную ориентацию, более 73% объектов имеют форму, вытянутую в субширотном направлении, что соотносится с основной ориентацией Манычских и Сарпинских озер, Западных подстепных ильменей. 12% объектов не имеют выраженной ориентации в пространстве.

По результатам дешифрирования составлена схема пространственного расположения соровых понижений и солончаков на территории Астраханской области, Ставропольского края, Республик Дагестан и Калмыкия (рис. 2).

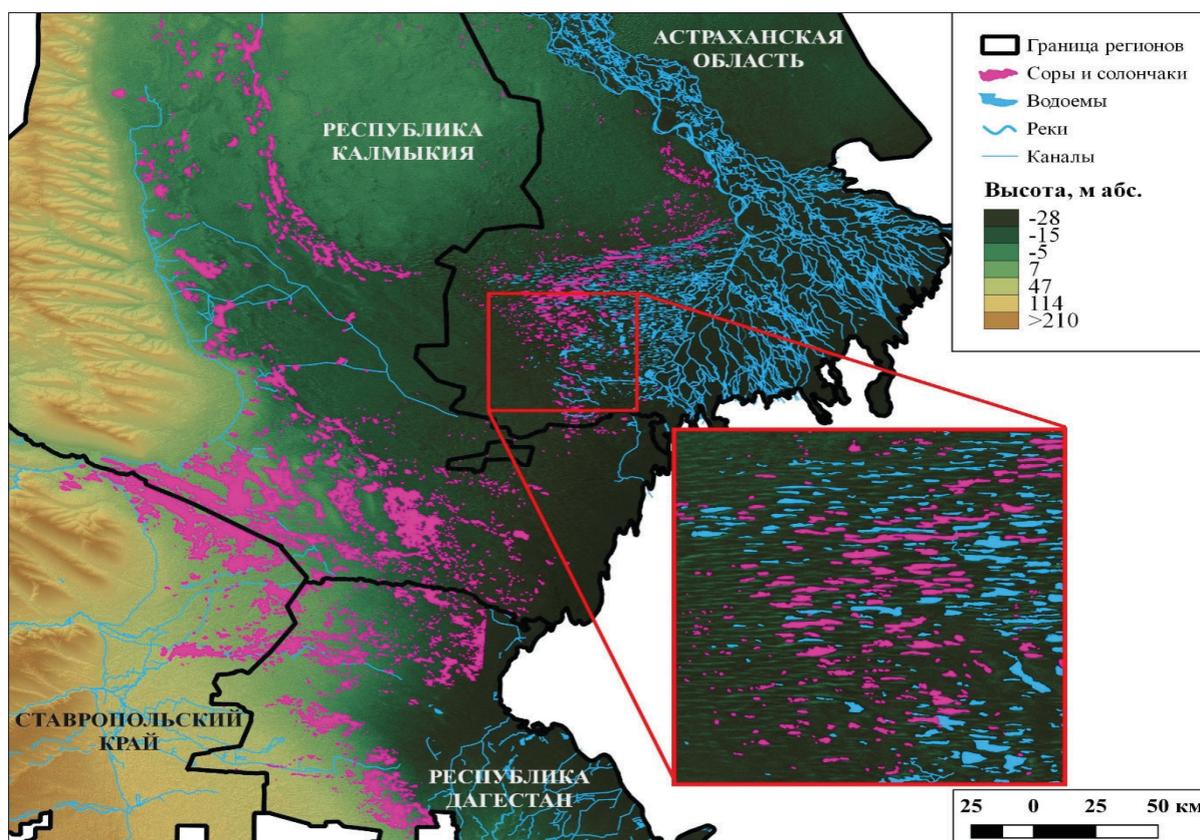


Рисунок 2. Схема расположения соровых понижений и солончаков на юге России по состоянию на 2022 год

С использованием данных цифровой модели рельефа было проанализировано распределение полученных в результате картографирования объектов по глубинам (табл. 2). Около 5,7 тыс. объектов не выражены в рельефе, более 2,7 тыс. объектов

обладают высотой поверхности большей, чем высота окружающей местности. Наибольшая высота составляет 6 м относительно высоты окружающей местности. Пять объектов общей площадью 1 403 га имеют наибольшую глубину (8 м и более).

Таблица 2 – Распределение солончаков и соровых понижений по высоте

Глубина	Количество	Площадь, тыс. га	Средняя площадь, га
<0	2765	6 695,1	2,4
0	5771	45 959,6	7,9
1	5945	79 745,4	13,4
2	3236	48 685,5	15,0
3	1198	28 974,3	24,2
4	389	18 394,1	47,3
5	103	8 873,6	86,2
6	19	839,6	44,2
7	7	953,8	136,3
8	3	1 286,1	428,7
>8	2	117,4	58,7

Соровое понижение – геоморфологический объект, полноценные исследования по картографированию которого ранее не проводились. В качестве примера схожих исследований могут быть приведены исследования М.В. Конюшковой [4], посвященные картографированию солонцовых комплексов, но есть ряд существенных отличий: исследование проводилось на ряде отдельных тестовых полигонов, а не на всей территории Северо-Западного Прикаспия, как в нашем исследовании; определение солонцов проводилось не на основе спектральных характеристик, а на основе данных о растительности и почвах (выявление засоленцевания по геоботаническому описанию).

Спектральные характеристики солончаков и соров могут совпадать с характеристиками очагов опустынивания и открытых песков, поэтому тща-

тельное визуальное картографирование на основе не только прямых, но и косвенных признаков позволяет дифференцировать эти типы объектов и исключить взаимные ошибки при оценке их площадей автоматическим способом [12]. Также полученная в результате картографирования векторная маска соровых понижений и солончаков может быть вычтена при картографировании пожаров, т.к. отсутствие горючего материала исключает возможность распространения огня. Практически все соровые понижения после обильных дождей или весеннего таяния снега могут быть заполнены водой (рис. 3), что затрудняет их дифференциацию от соленых озер, особенно среди Маньчских озер и Западных подстепных ильменей [13, 14]. Поэтому должны использоваться спутниковые изображения в период конца лета или начала осени.



Рисунок 3. Калмыкия. Черноземельский район. Июнь 2021 года

Выводы. Общая площадь соровых понижений и солончаков на исследованной территории (Республика Калмыкия, северо-восток Ставропольского края, север Республики Дагестан, юго-запад Астраханской области) составляет 240,5 тыс. га. В основном это белые объекты холодных оттенков площадью до 10 га, которые имеют вытянутую в субширотном направлении форму и могут периодически заполняться водой после обильных осадков.

В результате исследования была получена векторная маска объектов, на ее основе составлена схема расположения соров и солончаков в пределах Северо-Западного Прикаспия.

Использованная методика картографирования показала высокую точность дифференциации соровых понижений и солончаков от песков. Результаты проведенного картографирования позволяют точно оценивать площади соровых понижений

и солончаков, а также могут быть использованы при проведении работ по оценке динамики процессов опустынивания или при картографировании ландшафтных пожаров.

Литература:

1. Берденгалиева А.Н., Шинкаренко С.С., Выприцкий А.А. Геоинформационное картографирование сорных понижений в Северо-Западном Прикаспии // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 359-367. DOI 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367
2. Гасанов Г.Н., Асадулаев З.М., Асварова Т.А., Гасанова З.У., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Мусаев М.Р., Магомедов Н.Р., Айтемиров А.А., Десинин С.Л. Экологические аспекты формирования солончака реградированного в Терско-Кумской низменности Прикаспия. Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. № 4. С. 86-97. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-86-97
3. Дорошенко В.В. Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае. Научно-агрономический журнал. 2022. №3(118). С. 31-36. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36
4. Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 316 с.
5. Кулик К.Н. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. – Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
6. Кулик К.Н., Петров В.И., Юфев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ опустынивания северо-западного Прикаспия. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 16-24
7. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявление засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)» 2021. (под редакцией Р.С.-Х. Эдельгериева). Том 3. М.: ООО «Издательство МБА», 700 с.
8. Пищулов С.А. Соры как форма аридного рельефа. Геоморфология. 2013. № 3. С. 89-96. DOI: 10.15356/0435-4281-2013-3
9. Титкова Т. Б., Золотокрылин А. Н. Мониторинг подверженных опустыниванию земель Республики Калмы-

кия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 130-141. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.

10. Шинкаренко С.С., Джамирозев Г.С., Васильченко А.А. Проблема опустынивания в биосферном резервате ЮНЕСКО Кизлярский залив. Географический вестник. 2021. № 4(59). С. 99-112. DOI 10.17072/2079-7877-2021-4-99-112
11. Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 122-133. DOI 10.31857/S2587556622010113
12. Шинкаренко С.С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019-2022 гг. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319-327. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327
13. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Выприцкий А.А. Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бугрового района дельты Волги. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 285-290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290
14. Юфев В.Г., Мелихова А.В., Балынова В.В. Геоинформационный анализ рельефа Кумо-Манычской впадины. Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12, № 2. С. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.9>
15. Gonikov T.V. Using Earth Remote Sensing to Study the Parameters of the Morphological Structure of the Ridge Landscape in the North Caspian Region. Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics. 2019. Vol. 55. No 9. P. 1346-1352. DOI: 10.1134/S0001433819090184
16. Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. Geoinformation analysis of desertification dynamics in the territory of Astrakhan oblast. Arid Ecosystems, 2015. Vol. 5. No 3. P. 134-141. DOI 10.1134/S2079096115030087
17. USGS Earth Explorer // USGS. Science for a changing world. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 20.10.2022).
18. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. A new approach to the monitoring of desertification centers. Arid Ecosystems. 2011. Vol. 1. No. 3. P. 125-130. DOI: 10.1134/S2079096111030127

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.001.06-11

Spatial Distribution of Sor Depressions in the South of European Russia According to Remote Sensing Data

Asel N. Berdengalieva[✉], Junior Researcher, berdengalieva-an@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-5252-7133,

Valeria V. Doroshenko, Junior Researcher, ORCID: 0000-0003-3253-1132 –

Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes –

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS),

e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. This article presents the results of mapping of sor depressions and solonchaks in the south of Russia. Previously, studies of individual polygons were undertaken, but no detailed mapping was carried out. Due to the fact that sors and solonchaks may be mistakenly defined as areas occupied by open sands when mapping desertification, their separate mapping is necessary to exclude such errors; also, the vector mask of sors and solonchaks can be immediately

deducted from the results of mapping fires due to the lack of combustible material. Mapping was carried out on the basis of the space survey materials visual interpretation results (Sentinel-2, SRTM3) on the territory of the Astrakhan Region, Stavropol Territory, the Republics of Dagestan and Kalmykia (Terek-Kuma lowland, Kuma-Manych depression, Sarpinskaya lowland). The Sarpinskiye and Manych lakes, the Western sub-steppe Ilmeni are located on the territory

of the study. As a result of mapping, 19,438 vector objects with a total area of 240 thousand hectares were identified. More than 70% of the objects are elongated in the sublatitudinal direction. The greatest revealed height was 6 m relative to the surrounding surface, the greatest depth was -9 m, about 30% of objects are not expressed in relief. Based on the results of mapping, a scheme of the spatial distribution of sors depressions and solonchaks in the south of European Russia has been compiled.

Keywords: solonchaks, GIS technologies, sor depressions, geoinformation analysis, remote sensing, south of Russia

Received: 10.10.2022

Accepted: 05.12.2022

Translation of Russian References:

1. Berdengalieva A.N., Shinkarenko S.S., Vypritskiy A.A. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye sorovykh ponizheniy v Severo-Zapadnom Prikaspiy* [Geoinformation mapping of sor depressions in the North-Western Near-Caspian region]. InterKarto. InterGIS Publ. house. 2022. T. 28. Pt. 1. pp. 359-367. DOI 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367
2. Gasanov G.N., Asadulaev Z.M., Asvarova T.A., Gasanova Z.U., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R., Abdulaeva A.S., Akhmedova Z.N., Musaev M.R., Magomedov N.R., Ajtemirov A.A., Desinov S.L. *Ekologicheskije aspekty formirovaniya solonchaka regradirovannogo v Tersko-Kumskoj nizmennosti Prikaspiya* [Ecological aspects of the regraded solonchak formation in the Terek-Kuma lowlands of the Near-Caspian region]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2019. T. 14. 4. pp. 86-97. DOI:10.18470/1992-1098-2019-4-86-97
3. Doroshenko V.V. *Geoinformatsionnyj analiz razvitiya protsessov opustynivaniya v Stavropol'skom krae* [Geoinformation analysis of the desertification processes development in the Stavropol Krai]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal* [Scientific Agronomy Journal]. 2022. 3(118). pp. 31-36. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36
4. Konyushkova M.V. *Tsifrovoe kartografirovaniye pochv solontsovykh kompleksov Severnogo Prikaspiya* [Digital mapping of soils of the Northern Near-Caspian region saline complexes]. M. Association of Scientific Publication KMK, 2014. 316 p.
5. Kulik K.N. *Agrolesomeliativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya ocenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes]. Volgograd. VNIALMI Publ. house. 2004. 248 p.
6. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. *Geoinformacionnyj analiz opustynivaniya severo-zapadnogo Prikaspiya* [Geoinformation analysis of the North-Western Near-Caspian region desertification]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2020. T. 26. 2(83). pp. 16-24.
7. National report "Global Climate and soil cover of Russia: drought manifestation, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)" 2021. (edited by R.S.-H. Edelgeriev). Tome 3. M. LLC «MBA Publishment», 700 p.
8. Pishchulov S.A. *Sory kak forma aridnogo rel'efa* [Sors as a form of arid relief]. *Geomorfologiya* [Geomorphology]. 2013. 3. pp. 89-96. DOI: 10.15356/0435-4281-2013-3
9. Titkova T.B., Zolotokrylin A.N. *Monitoring podverzhennykh opustynivaniyu zemel' Respubliki Kalmykiya* [Monitoring of desertification-prone lands of the Republic of Kalmykia]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problem s of remote sensing of the Earth from space]. 2022. T. 19. 2. pp. 130-141. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
10. Shinkarenko S.S., Dzhahirzoev G.S., Vasil'chenko A.A. *Problema opustynivaniya v biosfernom rezervate YUNESKO Kizlyarskij zaliv* [The problem of desertification in the UNESCO Kizlyar Bay Biosphere Reserve]. *Geograficheskij vestnik* [Geographical Bulletin]. 2021. 4(59). pp. 99-112. DOI 10.17072/2079-7877-2021-4-99-112
11. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N. *Dinamika ploshchadi garej v zonal'nykh landshaftah yugo-vostoka evropejskoj chasti Rossii* [Dynamics of the harem area in the zonal landscapes of the south-east of the European part of Russia]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series]. 2022. T. 86. 1. pp. 122-133. DOI 10.31857/S2587556622010113
12. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V. *Sputnikovyj monitoring processov opustynivaniya na yuge Evropejskoj Rossii v 2019-2022 gg* [Satellite monitoring of desertification processes in southern European Russia in 2019-2022]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of remote sensing of the Earth from space]. 2022. T. 19. 5. pp. 319-327. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327
13. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Vypritskiy A.A. *Dinamika ploshchadej vodoemov Zapadnogo il'menno-bugrovogo rajona del'ty Volgi* [Dynamics of the areas of reservoirs of the Western Ilmen-hillock region of the Volga delta]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of remote sensing of the Earth from space]. 2021. T. 18. 4. C. 285-290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290
14. Yuferev V.G., Melihova A.V., Balynova V.V. *Geoinformacionnyj analiz rel'efa Kumo-Manychskoj vpadiny* [Geoinformation analysis of the Kuma-Manych depression relief]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural systems and resources]. 2022. T. 12. 2. pp. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.9>

Цитирование. Берденгалиева А.Н., Дорошенко В.В. Пространственное распределение соровых понижений на юге европейской России по данным дистанционного зондирования // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 06-11. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.001.06-11

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V. Spatial Distribution of Sor Depressions in the South of European Russia According to Remote Sensing Data. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 06-11. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.001.06-11

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Пространственный анализ инфраструктуры орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области

Александр Анатольевич Васильченко ✉, м.н.с., e-mail: vasilchenko-a@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-9591-6895-
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, пр. Университетский, 97, г. Волгоград, Россия

Многолетний нарушенный гидрологический режим Волго-Ахтубинской поймы, а также климатические особенности привели к деградации пойменных ландшафтов и сельского хозяйства соответственно. Улучшение экологической ситуации в пойме в совокупности с приоритетными Государственными программами развития сельского хозяйства возобновляет актуальность в орошаемом земледелии в пределах Волго-Ахтубинской поймы. Целью данной работы является картографирование сельскохозяйственных угодий, водотоков и транспортных путей в пределах Волго-Ахтубинской поймы, а также геоинформационный анализ близости орошаемых сельхозугодий к объектам гидросети (по прямой) и крупным населенным пунктам путем (через созданные слои с дорогами разных типов). Результатами исследования являются разработанные геоинформационные тематические слои с водными объектами (меженные данные) – 26030 га, орошаемыми полями – 12600 га, дорогами всех типов – 3733 км. Анализ расстояния до ближайшего водотока показал хорошую обеспеченность водными ресурсами для земледелия: более 70% полей находятся на расстоянии до 500 метров. На основе геоинформационных инструментов сетевого анализа были выявлены расстояния от сельскохозяйственных полей до крупных населенных пунктов: Краснослободска, Средней Ахтубы, Ленинска. Около 60% полей находятся на расстоянии до 15 км по дорогам до крупных населенных пунктов. На основе полученных данных произведена сегментация и моделирование «зон обслуживания» крупных населенных пунктов в пределах поймы. Практическая значимость полученных результатов состоит в использовании картографических материалов для актуализации и инвентаризации границ сельскохозяйственных угодий, а также в обосновании возобновления на них сельскохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, геоинформационное картографирование, сетевой анализ, дистанционное зондирование, орошаемое земледелие, инфраструктура.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100311-3 «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях».

Поступила в редакцию: 18.10.2022

Принята к печати: 30.11.2022

Волго-Ахтубинская пойма поистине уникальный природный объект, находящийся на юге России в пределах трех субъектов Российской Федерации: Волгоградской области, Астраханской области и Республики Калмыкия. Тенденции современного природопользования на территории поймы и коренных прибрежных территориях Волги и Ахтубы не являются рациональными. Множество исследований подтверждают факт нерационального природопользования, а к одной из важнейших причин относят зарегулированный гидрологический режим [7, 8, 18, 19]. Благодаря этому наблюдаются серьезные трансформации в пойменных и близлежащих агроландшафтах [3, 18]. Современная политика государства направлена на улучшение ситуации в агропромышленном комплексе. Национальные приоритетные проекты, в том числе «Экология», успешно реализуются в пойменных ландшафтах юга России. Улучшение гидрологической ситуации в Волго-Ахтубинской пойме, в том числе расчистка ериков, протоков, позволит в определенной степени нивелировать негативные последствия зарегулирования сброса

воды с Волжской ГЭС и стабилизировать увлажнение поймы [2, 10]. Комплекс таких мер открывает множество новых возможностей в ведении сельскохозяйственной деятельности в пойме и коренных берегах Волги и Ахтубы. До строительства Волжской ГЭС и начала регулирования стока территория современной Волго-Ахтубинской поймы с ее прилегающими территориями насчитывала 470 тыс. га сельскохозяйственных угодий, большинство из которых, в силу климатических, почвенных и иных особенностей, были орошаемыми и находились в состоянии постоянной трансформации [14, 15]. Ныне большинство из них находятся в заброшенном состоянии. К современным ведущим проектам в области возобновления сельского хозяйства можно отнести Государственную программу «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса» [4]. Одним из этапов данной программы является инвентаризация сельскохозяйственных угодий. В силу размера территории нашей страны, здесь перспективными являются геоинформационные системы (ГИС), в том числе

геоинформационное картографирование на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С помощью ГИС и данных ДЗЗ можно не только обновлять границы сельскохозяйственных угодий, но и производить аналитические операции, позволяющие составить комплексную оценку землепользованию [6, 17]. Привлекательность вовлекаемых в оборот сельскохозяйственных угодий зависит от множества факторов: истории пользования участком, его плодородия (состояние почвы, наличия засоления), а также его инфраструктуры. Современные динамичные изменения логистических операций, стоимости сельскохозяйственной техники и топлива определяют несомненную важность инфраструктурных особенностей вовлекаемых участков. В пределах Волго-Ахтубинской поймы к инфраструктурным особенностям сельхозугодий можно отнести расстояние до ближайшего водозабора (водотока), а также расстояние до точек сбыта. Стоит отметить также, что инфраструктурный анализ важен и с точки зрения перспектив развития туризма [12] и организации противопожарной профилактики в условиях роста горимости пойменных ландшафтов [16].

Современное геоинформационное картографирование обеспечивает довольно высокую точность выделения сельскохозяйственных угодий как в автоматическом, так и в полуавтоматическом и ручном режимах [9, 13]. На территории Волгоградской области с помощью данных ДЗЗ также успешно производится картографирование сельскохозяйственных угодий в виде пашни, орошаемых массивов, богарных полей [1, 5]. Однако в процессе выделения орошаемых массивов могут возникать трудности. Одной из самых главных проблем в идентификации орошаемых полей можно считать их относительно небольшие размеры и трудности в разделении границ внутри массивов. На территории Волго-Ахтубинской поймы, а также на коренных берегах Волги и Ахтубы широко распространены орошаемые массивы с полями, минимальные размеры которых начинаются с 20 на 50 метров. В связи с этим большинство автоматических и полуавтоматических алгоритмов здесь не подходят.

Целью данной работы является картографирование сельскохозяйственных угодий, водотоков и транспортных путей в пределах Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области, а также геоинформационный анализ близости обрабатываемых и не обрабатываемых сельхозугодий к водотокам и крупным населенным пунктам.

Материалы и методы. В качестве основы для картографирования орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы использовались данные сверхвысокого разрешения программы Google Earth Pro с корректировкой по данным высокого пространственного разрешения Sentinel-2 (10 м) на 2022 год. Набор данных ДЗЗ составляют 5 безоблачных мозаик тайлов T38UNU и T38UMU. Ввиду того, что данные Google Earth Pro представляют собой моза-

ику разновременных снимков, именно коррекция по данным высокого разрешения представляет собой наиболее рациональный способ картографирования. Выделение водных объектов по меженным данным и дорог всех типов производилось по аналогичной методике.

Аналитические операции производились в бесплатно распространяемой геоинформационной системе QGIS. Анализ ближайшего соседства производился на основе слоев в векторном формате.

Одним из инструментов для расчета ближайшего соседства является алгоритм «v.distance» модуля GRASS GIS. Данный алгоритм автоматически рассчитывает кратчайшее расстояние между векторными слоями с любыми типами геометрии (точки, линии, полигоны). При этом в атрибуты исходного слоя записываются данные о ближайшем объекте (его id), расстоянии до ближайшего объекта (геометрического примитива), координаты точки соприкосновения. Также модуль может генерировать линии ближайшего соседства. Однако в работе данной функции существует несколько проблем, влияющих на ее работу. Начиная с версии 3 QGIS не поддерживает и не обновляет скрипты модуля GRASS GIS. Поэтому кодировки актуальных геоинформационных слоев могут генерироваться с ошибками или не обрабатываться вовсе алгоритмами GRASS GIS. В таком случае генерация линий производится на основе расчета координат ближайших точек (с переменной исходного и оверлейного слоя) и генерации линий на основе двух наборов координат.

Анализ расстояний по имеющимся наборам линейных объектов производился на основе подгружаемого модуля для расширенного сетевого анализа в QGIS – QNEAT3. Расчет кратчайшего пути от центроидов орошаемых полей до предполагаемых «точек сбыта» производился на основе инструмента «OD Matrix from Layer as Table». Данный инструмент записывает в новую генерируемую таблицу данные о координатах начала и конца кратчайшего пути от объекта, а также расстояние. Построение такой таблицы является созданием матрицы «источник-назначение». После создания матрицы данные необходимо сгруппировать, а именно выбрать минимальное расстояние до точки притяжения для каждого объекта. Данная операция производится на основе настраиваемых выборок. Построение полигонов Вороного (полигоны, создающиеся вокруг точечных объектов, границы которых являются половинным расстоянием до ближайшей соседней точки) и объединение их по атрибуту ближайшей точки притяжения позволяет создавать так называемые «зоны обслуживания».

Результаты и обсуждение. С помощью геоинформационного картографирования данных ДЗЗ сверхвысокого и высокого пространственного разрешения на территории Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области было выделено 6800 полигонов водных меженных объектов общей площадью 260,3 км²; 3294 орошаемых поля

общей площадью 12600 га; 11850 линейных объектов дорог общей протяженностью 3803 км. На основе прямых и косвенных дешифровочных признаков было выявлено 2563 неиспользуемых поля

общей площадью 9490 га, 721 обрабатываемое поле общей площадью 3110 га, 90 км асфальтированных дорог и 3733 км грунтовых дорог (рис.1).

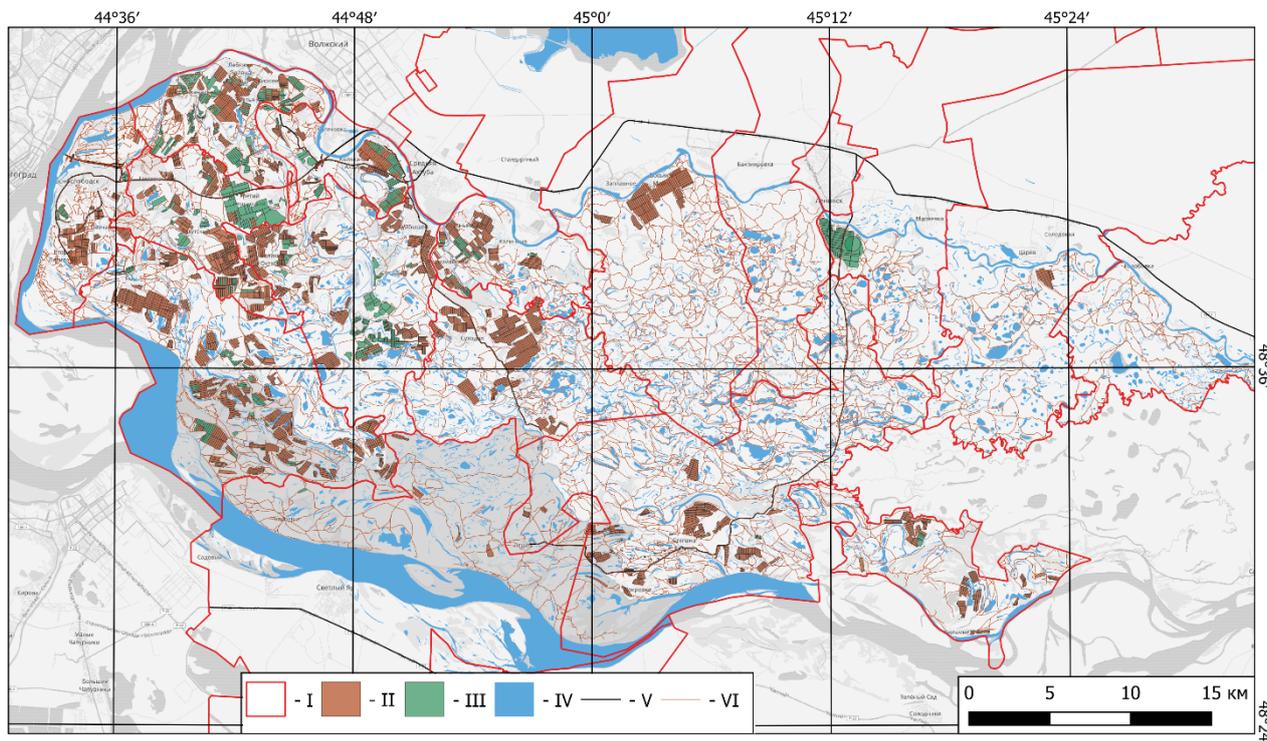


Рисунок 1. Результаты картографирования на территории исследования:

I – муниципальные границы, II – неиспользуемые поля, III – обрабатываемые поля, IV – водные объекты, V – дороги с твердым покрытием, VI – грунтовые дороги

На основе слоя с меженными данными по водным объектам вычислены кратчайшие расстояния до ближайших к полям водотоков. Подавляющее большинство орошаемых полей (97,6%) находятся в пределах 1000 метров до ближайшего водотока (рис.2б). Около 73% полей находятся на расстоянии

500 метров от водотока. Пространственное расположение орошаемых массивов поймы позволяет в кратчайшие сроки наладить постройку систем полива и водозабора. На основе полученных данных о расстояниях и координатах точек возможно построение визуализирующих линий (рис.2а).

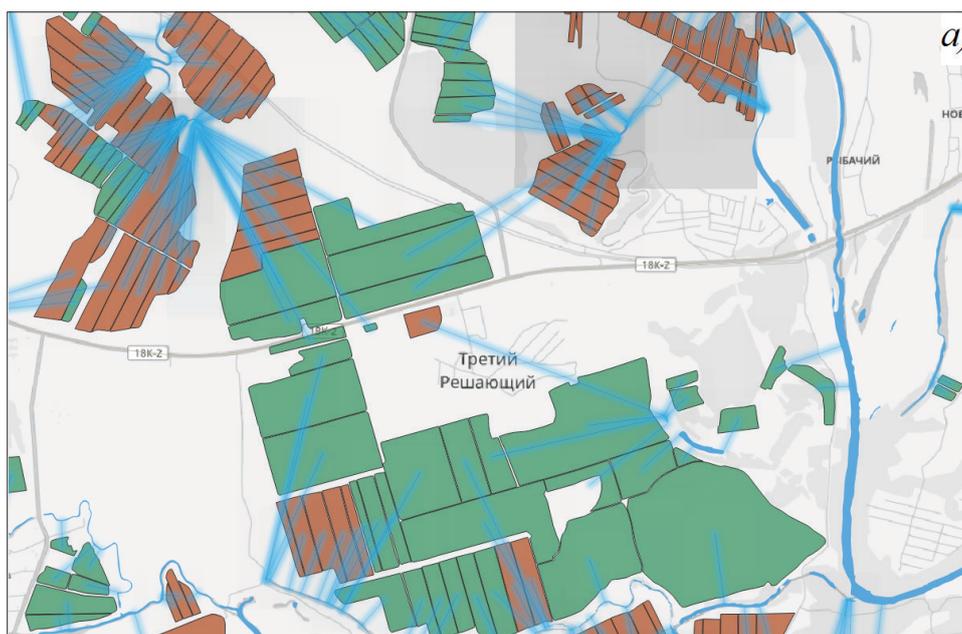


Рисунок 2а. Создание линий до ближайших водотоков

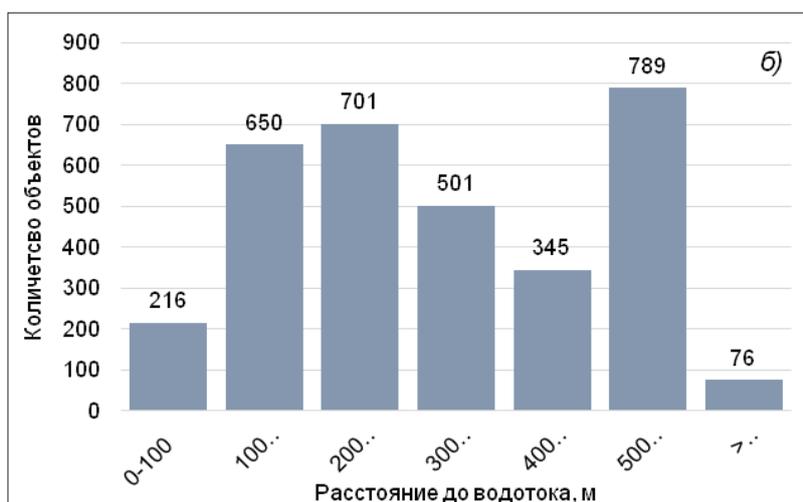


Рисунок 26. Гистограмма распределения расстояний от орошаемых полей до водотоков

Анализ орошаемых полей на принадлежность «точкам интереса» производится на основе вычисления расстояний от центра поля до каждой из трех предполагаемых зон концентрации по линиям заранее картографируемых дорог

всех типов.

За зоны концентрации (точки интереса) в данном исследовании были выбраны три крупных населенных пункта в пределах поймы: Краснослободск, Средняя Ахтуба, Ленинск.

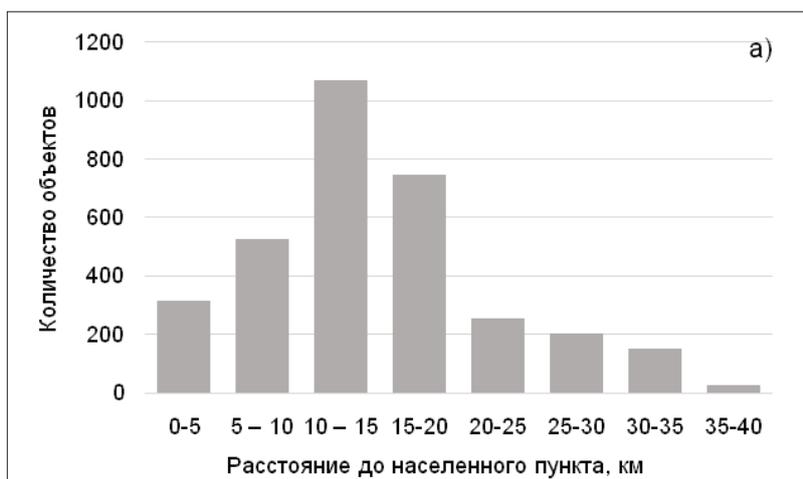


Рисунок 3а. Гистограмма распределения расстояний по дорогам от полей до крупных населенных пунктов



Рисунок 3б. Гистограмма распределения расстояний от полей до населенных пунктов в пределах «зон обслуживания» крупных населенных пунктов

Данные населенные пункты не только используются как точки сбыта, но и являются концентраторами рабочей силы для сельского хозяйства поймы. На основе моделирования матрицы «источник-назначение» было выявлено, что орошаемые поля Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области находятся на расстоянии по дорогам от 2 до 38,5 км от исследуемых населенных пунктов.

Около 33% полей поймы находятся на минимальном расстоянии от «точек интереса» в пределах от 10 до 15 км.

На расстоянии до 10 км находятся 25% полей. Анализ принадлежности орошаемых полей к «точ-

кам интереса» показал, что наиболее крупной с точки зрения количества полей является зона Средней Ахтубы (47,5% полей). В этой же зоне наблюдается относительно близкое их расположение (рис. 3). Наиболее удаленное расположение орошаемых полей относительно «точки интереса» выявлено в Ленинском районе.

На основе моделирования и расчета матрицы «источник-назначение», построения полигонов Вороного их классификации по ближайшим «точкам интереса» были построены зоны обслуживания для орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области (рис. 4).

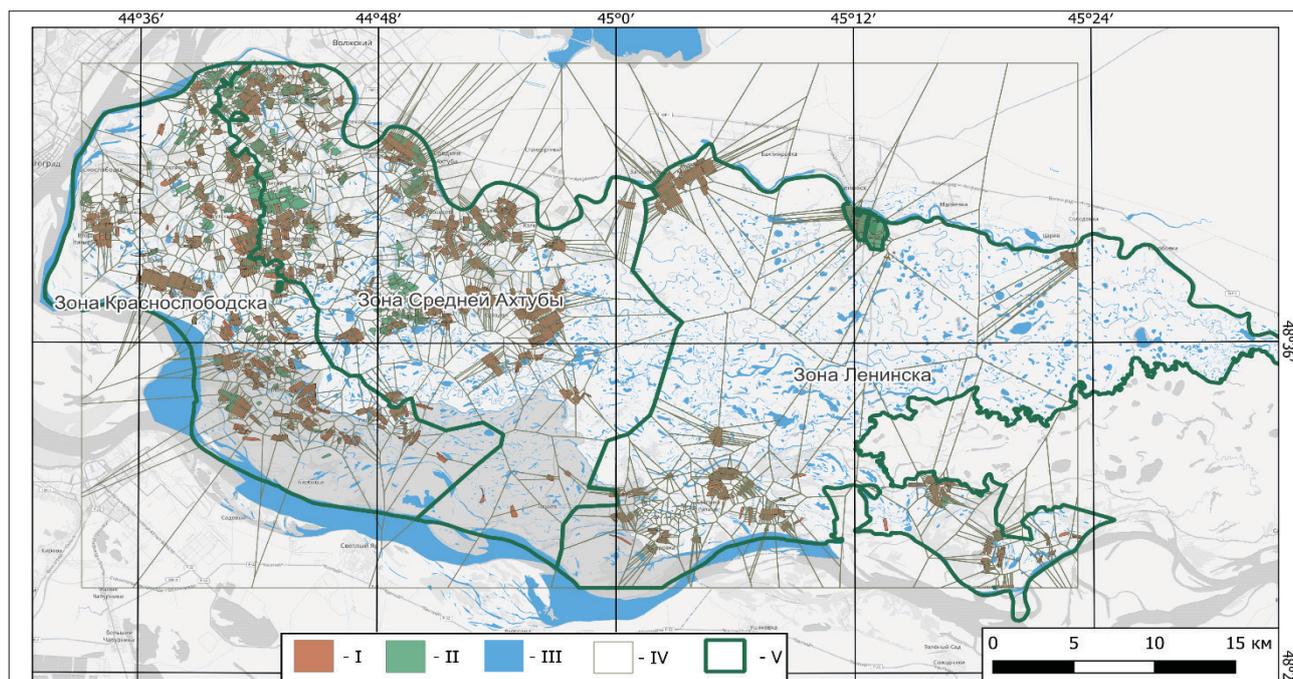


Рисунок 4 – Карта «зон обслуживания» орошаемых полей крупными населенными пунктами: I – неиспользуемые поля, II – обрабатываемые поля, III – водные объекты (меженные данные), IV – границы полигонов Вороного, V – границы «зон обслуживания»

Площадь зоны обслуживания Краснослободска составила 329,9 км², Средней Ахтубы – 469,04 км², Ленинска – 665,9 км². Дальнейшая работа может быть направлена на моделирование доступности сельскохозяйственных угодий во время половодья, т.к. некоторые грунтовые дороги могут оказаться залитыми водой [11].

Заключение. В результате проведенного исследования были разработаны тематические картографические слои с сельскохозяйственными полями, водными объектами (меженные данные), дорогами всех типов на территории Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области. Использование полученных картографических материалов в совокупности с использованием перспективных геоинформационных инструментов сетевого анализа позволили выявить особенности пространственного размещения орошаемых полей поймы в разрезе близости к источнику воды для орошения и крупному населенному пункту. Данные о расстояниях до ближайшего водотока свидетельствуют о

том, что более 70% полей, как обрабатываемых, так и заброшенных, находятся в пределах 500 метров от источника. Эти данные свидетельствуют о хорошей привлекательности данных участков с точки зрения возобновления хозяйственной деятельности. Анализ расстояний по дорогам от сельскохозяйственных полей до «точек интереса» в виде крупных населенных пунктов Краснослободск, Средняя Ахтуба, Ленинск свидетельствует о рискованной перспективе возобновления сельскохозяйственной деятельности в некоторых районах поймы. Более 40% полей находятся на расстоянии более 15 км по дорогам от крупных населенных пунктов. Ввиду климатических и гидрологических особенностей поймы в период размещения сельскохозяйственных культур добраться по грунтовым дорогам до этих полей практически невозможно.

Литература:

1. Берденгалиева А.Н., Берденгалиев Р.Н. Связь сезонной динамики озимой пшеницы и рельефа в подзоне южных черноземов Волгоградской области // Научно-

агрономический журнал. 2022. №3(118). С. 49-56. DOI 10.34736/FNC.2022.118.3.007.49-56.

2. Болгов М.В., Демин А.П. Водохозяйственные и экологические проблемы нижней Волги и пути их решения // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 2. С. 211-220. –DOI 10.7868/S0321059618020116.

3. Бреховских В.Ф., Островская Е.В. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна. Астрахань. Издатель: Сорокин Р.В. 2017. 408 с.

4. Государственная программа «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса» // Правительство России. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/895/> (дата обращения 28.08.2022).

5. Денисова Е.В. Использование ГИС-технологий для создания локальной геоинформационной системы учета орошаемых угодий // Исследование Земли из космоса. 2022. № 4. С. 86-96. DOI 10.31857/S0205961422030046.

6. Денисова Е.В., Силова В.А. Геоинформационное обеспечение проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в системе управления земельными ресурсами (на примере Волгоградской области) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 4. С. 57-65. DOI 10.35595/2414-9179-2021-4-27-57-65.

7. Кривошей В.А. 2015. Река Волга (проблемы и решения). М.: ООО Журнал «РТ». 92 с.

8. Лазарева В.Г., Бананова В.А., Нгуен В. Картирование растительности Сарпинской низменности в пределах Республики Калмыкия методами дистанционного зондирования и ГИС // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 178-183.

9. Матвеев Ш. Геоинформационное картографирование современного состояния сельскохозяйственных территорий Новоаннинского района Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12. № 2. С. 36-42. DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.5.

10. Павлова В. Обводнение Волго-Ахтубинской поймы – важнейший проект по оздоровлению Волги // Гидротехника. 2020. № 2(59). С. 36-37.

11. Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Оценка

влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. № 1.

12. Солодовников Д.А., Канищев С.Н., Золотарев Д.В., Шинкаренко С.С. Формы рекреационного природопользования на территории Волго-Ахтубинской поймы // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2013. № 2(6). С. 53-61.

13. Терехин Э.А. Распознавание залежных земель на основе сезонных значений вегетационного индекса NDVI // Компьютерная оптика. 2017. Т.41, № 5. С. 719-725. DOI:10.18287/2412-6179-2017-41-5-719-725

14. Чуйков Ю.С. История природопользования и экологические проблемы нижней Волги // Астраханский вестник экологического образования. 2002. № 2. С. 64-65.

15. Шевченко В.А., Бородычев В.В., Лытов М.Н., Сухарев Ю.И. Современные оценки неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения на Нижней Волге. Природообустройство. 2020. № 2. С. 6-14. DOI:10.26897/1997-6011/2020-2-6-14

16. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Иванов Н.М. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 143-157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.

17. Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю. 2010. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 102 с.

18. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region // Arid Ecosystems. 2018. Vol. 8. No. 4. P. 231-244. DOI: 10.1134/S2079096118040066

19. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin // Water Resources. 2020. V. 47. No. 6. P. 719-728. DOI: 10.1134/S0097807820060135

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.002.12-18

Spatial Analysis of the Volga-Akhtuba Floodplain Irrigated Fields Infrastructure in the Volgograd Region

Alexander A. Vasilchenko ✉, Junior Researcher, e-mail: vasilchenko-a@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-9591-6895
Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS),
e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. The long-term disturbed hydrological regime of the Volga-Akhtuba floodplain, as well as climatic features, led to the degradation of floodplain landscapes and agriculture, respectively. The improvement of the ecological situation in the floodplain in conjunction with priority State programs for the development of agriculture resumes relevance in irrigated agriculture within the Volga-Akhtuba floodplain. The purpose of this work is to map agricultural lands, watercourses and transport routes within the Volga-Akhtuba floodplain, as well as geoinformation analysis of the irrigated farmland proximity to the objects of the hydro grid (in a straight line) and large settlements (through the created layers with roads of different types). The results of the study

are the developed geoinformation thematic layers with water bodies (inter-boundary data) – 26030 ha, irrigated fields – 12600 ha, roads of all types - 3733 km. Analysis of the distance to the nearest watercourse showed good availability of water resources for agriculture: more than 70% of fields are located at a distance of up to 500 meters. On the geoinformation network analysis tools basis, distances from agricultural fields to large settlements were identified: Krasnoslobodsk, Srednyaya Akhtuba, Leninsk. About 60% of the fields are located at a distance of up to 15 km from roads to large settlements. Based on the data obtained, segmentation and modeling of "service areas" of large settlements within the floodplain were performed. The practical significance of the results

obtained consists in the use of cartographic materials for updating and inventory of the boundaries of agricultural land, as well as in justifying the resumption of agricultural activity on them.

Keywords: Volga-Akhtuba floodplain, network analysis, geoinformation mapping, remote sensing, irrigated agriculture, infrastructure

Received: 18.10.2022

Accepted: 30.11.2022

Translation of Russian References:

1. Berdengalieva A.N., Berdengaliev R.N. *Svyaz' sezonnoj dinamiki ozimoy pshenitsy i rel'efa v podzone yuzhnykh chernozemov Volgogradskoj oblasti* [The relationship of relief and winter wheat seasonal dynamics in the subzone of southern chernozems in the Volgograd region]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal* [Scientific Agronomy Journal]. 2022. 3(118). pp. 49-56. DOI 10.34736/FNC.2022.118.3.007.49-56

2. Bolgov M.V., Demin A.P. *Vodohozyajstvennye i ekologicheskie problemy nizhnej Volgi i puti ih resheniya* [Water management and environmental problems of the Lower Volga and ways to solve them]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2018. T. 45. 2. pp. 211-220. DOI 10.7868/S0321059618020116

3. Brekhovskih V.F., Ostrovskaya E.V. *Zagryaznyayushchie veshchestva v vodah Volzhsko-Kaspijskogo bassejna* [Pollutants in the Volga-Caspian basin waters]. Astrakhan. Sorokin R.V. publisher. 2017. 408 p.

4. The state program "Effective involvement in the turnover of agricultural lands and the development of the reclamation complex". The Government of Russia. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/895/> (access date: 28.08.2022).

5. Denisova E.V. *Ispol'zovanie GIS-tekhnologij dlya sozdaniya lokal'noj geoinformatsionnoj sistemy ucheta oroshaemykh ugodij* [The use of GIS technologies to create a local irrigated lands accounting geoinformation system]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Exploration of the Earth from space]. 2022. 4. pp. 86-96. DOI 10.31857/S0205961422030046

6. Denisova E.V., Silova V.A. *Geoinformatsionnoe obespechenie provedeniya monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v sisteme upravleniya zemel'nymi resursami (naprimere Volgogradskoj oblasti)* [Geoinformation support for agricultural lands monitoring in the land management system (on the example of the Volgograd region)]. *InterKarto*. "InterGIS" Publ. house. 2021. T. 27. 4. C. 57-65. DOI 10.35595/2414-9179-2021-4-27-57-65

7. Krivoshej V.A. *Reka Volga (problemy i resheniya)* [Volga River (problems and solutions)]. 2015. M. LLT "Zhurnal «RT»" Publ. house. 92 p.

8. Lazareva V.G., Bananova V.A., Nguen V. *Kartirovanie rastitel'nosti Sarpinskoj nizmennosti v predelakh Respubliki Kalmykiya metodami distantsionnogo zondirovaniya i GIS* [Mapping the vegetation of the Sarpinskaya lowland within the Republic of Kalmykia by remote sensing and GIS methods]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of contemporary natural science]. 2017. 12. pp. 178-183.

9. Matveev Sh. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye sovremennogo sostoyaniya sel'skohozyajstvennykh territorij Novoanninskogo rajona Volgogradskoj oblasti* [The Novoanninsky district of the Volgograd region agricultural territories current state geoinformation mapping]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural systems and resources]. 2022. T. 12. 2. pp. 36-42. DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.5

10. Pavlova V. *Obvodnenie Volgo-Ahtubinskoj pojmy – vazhnejshij projekt po ozdorovleniyu Volgi* [Flooding of the Volga-Akhtuba floodplain – the most important project for the the Volga recovery]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic engineering]. 2020. 2(59). pp. 36-37.

11. Rulev A.S., Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu. *Otsenka vliyaniya gidrologicheskogo rezhima Volgi na dinamiku zatopleniya ostrova Sarpinskij* [Assessment of the Volga hydrological regime influence on the Sarpinsky Island flooding dynamics]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta* [Scientific notes of Kazan University]. Series: Natural Sciences. 2017. T. 159. 1.

12. Solodovnikov D.A., Kanishchev S.N., Zolotarev D.V., Shinkarenko S.S. *Formy rekreatsionnogo prirodopol'zovaniya na territorii Volgo-Ahtubinskoj pojmy* [Forms of recreational nature management on the Volga-Akhtuba floodplain territory]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Volgograd State University]. Series 11: Natural Sciences. 2013. 2(6). pp. 53-61.

13. Terekhin E.A. *Raspoznavanie zaleznykh zemel' na osnove sezonnykh znachenij vegetatsionnogo indeksa NDVI* [Recognition of fallow lands based on the vegetation index NDVI seasonal values]. *Komp'yuternaya optika* [Computer optics]. 2017. T.41. 5. pp. 719-725. DOI:10.18287/2412-6179-2017-41-5-719-725

14. Chujkov Yu.S. *Istoriya prirodopol'zovaniya i ekologicheskie problemy nizhnej Volgi* [The Lower Volga nature management history and ecological problems]. *Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of ecological education]. 2002. 2. pp. 64-65.

15. Shevchenko V.A., Borodychev V.V., Lytov M.N., Suharev Yu.I. *Sovremennye otsenki neispol'zuemykh zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya na Nizhnej Volge* [Contemporary estimates of unused agricultural lands on the Lower Volga]. *Prirodoobustrojstvo* [Environmental management]. 2020. 2. pp. 6-14. DOI:10.26897/1997-6011/2020-2-6-14

16. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Ivanov N.M. *Prostranstvenno-vremennoj analiz gorimosti pojmykh landshaftov Nizhnej Volgi* [Spatio-temporal analysis of the Lower Volga floodplain landscapes burnability]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of the Earth remote sensing from space]. 2022. T.19. 1. pp.143-157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157

17. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Mushaeva K.B., Koshelev A.V., Dorohina Z.P., Berezovikova O.Yu. *Geoinformatsionnye tekhnologii v agrolesomelioratsii* [Geoinformation technologies in agroforestry]. 2010. Volgograd: VNIALMI Publ. house. 102 p.

Цитирование. Васильченко А.А. Пространственный анализ инфраструктуры орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 12-18. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.002.12-18

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Vasilchenko A.A. Spatial Analysis of the Volga-Akhtuba Floodplain Irrigated Fields Infrastructure in the Volgograd Region. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 12-18. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.002.12-18

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Author declare no conflict of interest.

Разработка безопасного гербицида на основе растительного сырья

Елена Сергеевна Яценко^{✉1}, к.б.н., доцент, ORCID ID 0000-0002-1715-6672;

Елена Анатольевна Лейтес¹, к.х.н. доцент, ORCID ID 0000-0003-0002-8620;

Виктор Анатольевич Петухов¹, старший преподаватель;

Глеб Константинович Клочков², студент;

Алена Вячеславовна Ермакова², магистрант;

¹кафедра техносферной безопасности и аналитической химии,

²институт химии и химико-фармацевтических технологий –

Алтайский государственный университет, mlprx@mail.ru,

656049, пр. Ленина, 61, Барнаул, Россия

В связи с экологизацией сельскохозяйственного производства требования к безопасности гербицидов для человека, животных и окружающей среды возросли. Поиск гербицидов, оказывающих менее вредное воздействие на выращиваемые культуры, ведется как среди новых классов химических соединений, так и среди растений. В литературе встречается мало работ по разработке и применению гербицидов растительного происхождения, поэтому данная тематика является актуальной. В представленной работе предлагается новый гербицид, полученный в результате исследований воздействия экстрактов из 24 видов растительного сырья как отдельно, так и в комплексах на изменение биомассы сорных растений. Разработанный препарат содержит комплекс экстрактов трав: ромашка аптечная, расторопша пятнистая, пижма обыкновенная, горчица сизая (семя). С помощью классических методов сбора растений, получения растительных экстрактов, оценки сырой биомассы сорной травы разработана рецептура, проведены лабораторные и натурные испытания гербицида. Препарат показал эффективное подавление роста сорной растительности на пустырях и заброшенных садовых участках в пригороде г. Барнаула. Гербицид рекомендован для обработки почвы между рядами растений и дорожек два-три раза за аграрный сезон.

Ключевые слова: безопасные гербициды, экстракты трав, растительное сырье.

Работа выполнена в рамках гранта Алтайского государственного университета № 16-22 Вг.

Поступила в редакцию: 18.10.2022

Принята к печати: 05.12.2022

Использование гербицидов в растениеводстве является одной из составляющих современного эффективного технологического процесса. За последние десятилетия, по-видимому, как из-за низкой культуры производства, так и экономических факторов [3] происходят нежелательные для выращивания сельскохозяйственных культур изменения. Например, в Челябинской области компоненты картофельных агрофитоценозов изменились в сторону сорных растений: количество многолетних сорняков на единице площади с 1995 до 2021 гг. возросло в 4,2 раза, а их фитомасса – в 8,6 раза [2].

Поиск и изучение соединений с гербицидной активностью не прекращается среди различных классов химических соединений. Синтезируют гербициды на основе сульфонилмочевины [15], содержащие феноксигруппу [13], производных урацила [12]. Разнообразие препаратов для борьбы с сорными растениями обеспечивает значительные конкурентные преимущества у сельскохозяйственных растений в борьбе за свет, воду, минеральные и органические вещества. Высокую эффективность показали препараты на основе метсульфурон-метила, их применение способствовало повышению урожайности ярового ячменя от 19,9 до 36,7 % по сравнению с контролем [1]. Применение гербицида обеспечивает снижение засоренности посадок кар-

тофеля примерно вдвое по сравнению с контролем и, как следствие, повышение урожайности [10]. Также хорошие результаты при возделывании картофеля в Псковской области показали препараты на основе метрибузин, биологическая эффективность составила от 72,2 до 93,0 % [11]. А при обработке капусты препарат на основе пендиметалина продемонстрировал биологическую эффективность 82,2-90,0% [9]. Действующие вещества С-метолахлор и прометрин при защите сои различных сортов от сорных растений семейства мятликовых показали эффективность 98% и дали прибавку урожая 0,75 т/га [8]. Авторы [5] отмечают существенное повышение урожайности сои на 0,19-1,07 т/га при обработке посевов смесью гербицидов.

Очевидно, использование гербицидов способствует повышению урожайности культур, а значит, доступности продукции для населения.

В последние десятилетия развивается тенденция отказа от гербицидов в связи с активным формированием культуры сохранения окружающей среды в агробизнесе [4], поскольку гербициды относятся к сильнейшим биологически активным веществам, которые имеют разный период распада. Остатки некоторых из них могут воздействовать на повторные посевы, поскольку сохраняются в почве в течение нескольких лет («последствие гербицидов»).

В настоящее время внимание уделяется изуче-

нию и применению гербицидов биологического происхождения. Например, вторичные соединения лекарственных растений могут являться потенциальной основой для создания биогербицидов [7,14]. Одним из примеров безопасных гербицидов может служить соединение, ингибирующее фотосинтез в листьях сорных растений за счёт подавления процесса фотосинтеза [6].

Цель данной работы – разработка безопасного и эффективного гербицида на основе растительного сырья.

Материалы и методы. Для разработки препарата нами использованы растительное сырье и экстракты, полученные из него (табл.1). Часть растений собрана на пустырях в пригороде г. Барнаула, часть закуплена у производителей фитопрепаратов. Все растения предварительно высушены, измельчены. Навеску растительного сырья помещали в колбу на 250 мл, добавляли дистиллированной воды до объема 200 мл и автоклавировали

при 1,1 атм. в течение 5 мин. Пробы остужали, фильтровали. Полученным экстрактом обрабатывали почву перед посевом семян газонной травы в лабораторных условиях. Расход составлял 100 мл препарата на участок размером 20×10 см. Через 10 дней траву выпалывали и взвешивали всю растительную биомассу. Эксперимент воспроизводили трижды. Почву в контрольной пробе поливали водопроводной водой.

Испытания препарата проводили в пригороде г. Барнаула на 10 участках размером 100×100 см. Участки предварительно полностью освобождали от растительности и затем обрабатывали 200 мл препарата. Оценка биомассы проводилась через 4 и 11 недель. Контрольный участок препаратом не обрабатывался.

Результаты и их обсуждение. Результаты воздействия экстрактов растений на рост газонной травы, полученные в результате лабораторного эксперимента, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Биомасса травы после обработки почвы растительными экстрактами в 2022 г. (n=3)

Растительное сырье	Латинское название	Сырая биомасса (г)
1. Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i>	20 ± 3
2. Укроп пахучий	<i>Anethum graveolens</i>	29 ± 8
3. Фацелия пижмолистная	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	18 ± 6
4. Чистотел большой	<i>Chelidonium majus</i>	24 ± 1
5. Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i>	28 ± 4
6. Щирица хвостатая	<i>Amaranthus caudatus</i>	18 ± 4
7. Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i>	3,0 ± 0,2
8. Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i>	18 ± 3
9. Молочай лозный	<i>Euphorbia virgata</i>	7 ± 1
10. Недотрога мелкоцветная	<i>Impatiens parviflora</i>	1,0 ± 0,4
11. Горчица сизая (семя)	<i>Brassica juncea</i>	1,0 ± 0,6
12. Дазифора кустарниковая	<i>Dasiphora fruticosa</i>	10 ± 2
13. Клевер луговой	<i>Trifolium pratense</i>	2,0 ± 0,4
14. Спорыш птичий	<i>Polygonum aviculare</i>	9 ± 0
15. Пустырник пятилопастный	<i>Leonurus quinquelobatus</i>	4 ± 1
16. Люцерна посевная	<i>Medicago sativa</i>	20 ± 6
17. Крапива двудомная	<i>Urtica dioica</i>	16 ± 3
18. Зизифора Бунге	<i>Ziziphora bungeana</i>	17 ± 3
19. Цитрусовые (волокна)	<i>C. Citrinae</i>	1 ± 0
20. Расторопша пятнистая	<i>Silybum marianum</i>	2 ± 2
21. Ромашка аптечная	<i>Matricaria chamomilla</i>	1,0 ± 0,2
22. Виноград (косточки)	<i>P.Vitis</i>	1 ± 0
23. Эхинацея пурпурная	<i>Echinacea purpurea</i>	1,0 ± 0,8
24. Пижма обыкновенная	<i>Tanacetum vulgare</i>	1,0 ± 0,4
25. Контроль		11 ± 1

Из таблицы 1 видно, что рост газонной травы подавляли следующие растения: пырей ползучий, молочай лозный, недотрога мелкоцветная, горчица сизая (семя), клевер луговой, пустырник пятилопастный, цитрусовые (волокна), расторопша пятнистая, ромашка аптечная, виноград (косточки), эхинация пурпурная, пижма обыкновенная. Наоборот, стимулирующее действие на рост газонной травы отмечено при обработке почвы одуванчиком лекарственным, укропом пахучим, фацелией пижмолистной, чистотелом

большим, мятликом луговым, щирцей хвостатой, люцерной посевной, крапивой двудомной, зизифорой Бунге.

Далее из некоторых растительных экстрактов, показавших свою эффективность, составлены комплексы, к части из которых добавлена уксусная кислота, выступающая в качестве консерванта, что способствует продлению сроков хранения препарата. Количество биомассы растений после обработки комплексами растительных экстрактов в лабораторных условиях представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Биомасса растений после обработки комплексами растительных экстрактов в 2022 г. (n=3)

Комплекс растительного сырья	Кислота органическая	Сырая биомасса (г)
Пижма обыкновенная, горчица сизая (семя)	-	4 ± 1
Эхинация пурпурная, пижма обыкновенная	-	8 ± 1
Цитрусовые (волокна), виноград (косточки)	-	2 ± 0
Ромашка аптечная, расторопша пятнистая	-	2,0 ± 0,6
Пижма обыкновенная, горчица сизая (семя)	+	10 ± 1
Эхинация пурпурная, пижма обыкновенная	+	12 ± 2
Цитрусовые (волокна), виноград (косточки)	+	7 ± 2
Ромашка аптечная, расторопша пятнистая	+	4±1
Горчица сизая (семя), пижма обыкновенная, эхинация пурпурная, ромашка аптечная, расторопша пятнистая, цитрусовые (волокна), виноград (косточки)	-	10 ± 0
Контроль		13±2

Значительное подавление роста газонной травы наблюдали при воздействии следующих комплексов: пижма обыкновенная, горчица сизая (семя); цитрусовые (волокна), виноград (косточки); ромашка аптечная, расторопша пятнистая. Комплекс из цитрусовых (волокна) и виноград (косточки) приобрел гелеобразную структуру, что создавало неудобства в процессе обработки почвы. В итоговый состав разрабатываемого препарата включены

растительные экстракты, показавшие наибольшую эффективность: ромашка аптечная, расторопша пятнистая, пижма обыкновенная, горчица сизая (семя), кислота органическая (консервант).

Натурные испытания препарата проводили с 23 июля по 7 октября 2022 года. В таблице 3 представлены результаты изменения сырой биомассы сорных растений на 10 участках размером 100×100 см после обработки препаратом через 4 и 11 недель.

Таблица 3 – Биомасса сорных растений через 4 и 11 недель после обработки препаратом в 2022 г.

№ участка	Сырая биомасса (г) после обработки (через 4 недели, после обработки)	Средняя биомасса, г	Сырая биомасса (г) после обработки (через 11 недель, после обработки)	Средняя биомасса, г
1	60	55 ± 13	120	114 ± 40
2	50		100	
3	50		140	
4	80		140	
5	60		120	
6	80		90	
7	30		110	
8	50		90	
9	40		180	
контроль	210		316	

Средняя биомасса на 9 участках с учетом статистической обработки результатов с применением Q-теста составила (55 ± 13) г после 4 недель и (114 ± 40) г после 11 недель.

Таким образом, после 4 недель с момента обра-

ботки биомасса сорных растений в среднем на обработанных участках меньше на 3/4 (74 %), чем в контрольной пробе, а после 11 недель на 64%, что демонстрирует эффективность разработанного препарата.



Рисунок. Вид седьмого участка: 1 – почва в день обработки препаратом, предварительно освобожденная от растительности; 2 – через четыре недели после обработки препаратом; 3 – через одиннадцать недель после обработки препаратом

Заключение. В результате проведенного исследования изучено 24 экстракта растительного сырья, из которых рост газонной травы подавляли следующие: пырей ползучий, молочай лозный, недотрога мелкоцветная, горчица сизая (семя), клевер луговой, пустырник пятилопастный, цитрусовые (волокна), расторопша пятнистая, ромашка аптечная, виноград (косточки), эхинация пурпурная, пижма обыкновенная. Также отмечено стимулирующее действие некоторых растительных экстрактов, что в последствии может быть использовано для разработки стимуляторов роста растений. Из комплексов экстрактов наиболее эффективными гербицидами проявили себя экстракты ромашки аптечной, расторопши пятнистой, пижмы обыкновенной, горчицы сизой (семя), ставшие основой разрабатываемого препарата. Значительное снижение биомассы сорной травы, полученное в натурных испытаниях, дает возможность рекомендовать препарат к использованию на приусадебных участках.

Литература:

1. Авдеенко А.П. Влияние гербицидов на засоренность побегов и продуктивность ярового ячменя // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 34-39.
2. Васильев А.А., Горбунов А.К., Бобоев Д.А., Глаз Н.В. Влияние гербицидов на сеgetальный компонент и урожайность картофеля в лесостепной зоне Челябинской области // Земледелие. 2022. № 3. С. 42-44.
3. Гусаков, Г.В. Комплексная система управления производственной безопасностью. Методологические и методические решения. Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК. Минск. 2018.
4. Гусаков Г.В. Экологизация сельского хозяйства: мифы и реальность. Наука и инновации 2020. С. 25-31.
5. Епифанцев В. В., Панасюк А. Н., Осипов Я. А., Вайтехович Ю. А. Влияние смесей гербицидов на динамику численности сорняков и продуктивность сои в Приамурье // Современные методы и подходы в защите растений: материалы II международной научной конференции. Екатеринбург, 16–18 ноября 2020. Екатеринбург. 2020. С. 30-31.

6. Жармухамедов С. К., Шабанова М. С., Родионова М. В., Гусейнова И. М. и др. Влияние нового ингибитора фотосинтеза [CuL2]Br₂ комплекса на активность фотосистемы II в шпинате // Cells. 2022. 11(17). 2680. <https://doi.org/10.3390/cells11172680>
7. Кондратьев М.Н., Ларикина Ю.С., Давыдова А.Н. Вторичные соединения лекарственных растений как потенциальная основа для создания биогербицидов // Вopr. биол., мед., фарм. химии. 2017. Т. 20. № 5. С. 36–40.
8. Лысенко Н.Н. Гербициды в посевах сои // Вестник аграрной науки. 2018. 2(71). С. 21-28.
9. Пушкарев В. Г., Алексеева А. Д. Продуктивность капусты белокачанной при использовании гербицидов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. N 2. С. 33-38. DOI 10.56323/23088583_2022_02_33.
10. Рутц А. В., Соколова А. В., Кузнецова Л. Н. Влияние гербицидов на продуктивность картофеля в Челябинской области // Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства. Сборник трудов 3-й Международной дистанционной научно-практической конференции. 2020. С.217-222
11. Ялович Л. И. Эффективность химической обработки посадок картофеля от сорняков в условиях Псковской области // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. N 2. С. 49-55. DOI 10.56323/23088583_2022_02_49.
12. Che J., Meng X., Xu X., Jiang Sh. Synthesis and herbicidal evaluation of novel uracil derivatives containing benzothiazol-2-yl moiety // J. Heterocycl. Chem. 2016. V. 53. № 5. P. 1494-1498.
13. Fu C., Zou X. Synthesis and herbicidal activity of 2-cyano-3-(2-substituted phenoxy)pyridin-5-yl) aminoacrylates containing substituted phenoxy group. [электронный ресурс]: Synthesis and herbicidal activity of 2-cyano-3-substituted-pyridinemethylaminoacrylates - PubMed (nih.gov). Дата обращения: 10.10.2022
14. Masi M., Meyer S., Clement S., Andolfi A. Spiroctaphylotrichin W, a spirocyclic γ-isolated from liquid culture of *Pyrenophora semeniperda*, a potential mycoherbicide for cheatgrass (*Bromus tectorum*) biocontrol // Tetrahedron. 2014. V. 70. № 7. P. 1497-1501.
15. Sacki M., Yano T., Nakaya Y., Tamada Y. Development of the novel herbicide metazosulfuron // J. Pest. Sci. 2016. V. 41. № 3. P. 102-106. 2.

Safe Herbicide Development Based on Plant Raw Materials

Elena S. Yatsenko^{✉1}, K.B.N., Associate Professor, ORCID ID 0000-0002-1715-6672,

Elena A. Leites¹, K.S-Kh.N., Associate Professor ORCID ID 0000-0003-0002-8620,

Viktor A. Petukhov¹, Senior Lecturer, Gleb K. Klochkov², Student, Alyona V. Ermakova² Graduate Student,

¹Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry,

²Institute of Chemistry and Chemical and Pharmaceutical Technologies, Altai State University, mlprx@mail.ru, 656049, Lenin Ave., 61, Barnaul, Russia

Abstract. The requirements for the safety of herbicides for humans, animals and the environment have increased due to the ecologization of agricultural production. The search for herbicides that have a less harmful effect on cultivated crops is carried out both among new classes of chemical compounds and among plants. There are few works in the papers on the development and application of plant origin herbicides, so this topic is relevant. In the present work, a new herbicide is proposed, obtained as a result of studies of the effects of extracts from 24 types of plant raw materials on the change in the biomass of weeds, both separately and in complexes. The developed preparation contains a complex of herbal extracts: chamomile, milk thistle, tansy, mustard blue (seed). With the help of classical methods of collecting plants, obtaining plant extracts and evaluating the raw biomass of weeds, a formulation was developed, laboratory and field tests of the herbicide were carried out. The drug has shown effective suppression of the weed vegetation growth in vacant lots and abandoned garden plots in the suburbs of Barnaul. The herbicide is recommended for soil processing between paths and rows of plants two or three times during the agricultural season.

Keywords: safe herbicides, herbal extracts, vegetable raw materials

Received: 18.10.2022

Accepted: 05.12.2022

Translation of Russian References:

1. Avdeenko A.P. *Vliyanie gerbitsidov na zasorennost' pobegov i produktivnost' yarovogo yachmenya* [The influence of herbicides on the clogging of spring barley shoots and its productivity]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of contemporary natural science]. 2018. 10. pp. 34-39.

2. Vasil'ev A.A., Gorbunov A.K., Boboev D.A., Glaz N.V. *Vliyanie gerbitsidov na segetal'nyj component i urozhajnost' kartofelya v lesostepnoj zone Chelyabinskoy oblasti* [Influence of herbicides on the segetal component and potato yield in the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region]. *Zemledeniye* [Agriculture]. 2022. 3. pp. 42-44.

3. Gusakov G.V. *Kompleksnaya sistema upravleniya proizvodstvennoj bezopasnost'yu: metodologicheskie resheniya* [Integrated food security management system: methodological solutions]. Minsk. «Belaruskaya navuka» Publ. house. 2018. 211 p.

4. Gusakov G.V. *Ekologizatsiya sel'skogo khozyajstva: mify*

i real'nost' [Ecologization of agriculture: myths and reality]. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation]. 2020. pp. 25-31.

5. Epifantsev V.V., Panasyuk A.N., Osipov Ya.A., Vajtekovich Yu.A. *Vliyanie smesey gerbitsidov na dinamiku chislennosti sornyakov i produktivnost' soi v Priamur'e* [The influence of herbicide mixtures on the weed abundance dynamics and soybean productivity in the Near-Amur region]. *Sovremennye metody i podkhody v zashchite rastenij* [Contemporary methods and approaches in plant protection]. Materials of the II International Scientific Conference. Ekaterinburg. 2020. pp. 30-31.

6. Zharmukhamedov S.K., Shabanova M.S., Rodionova M.V., Guseynova I.M. et al. *Vliyanie novogo inhibitora fotosinteza [CuL2]Br2 kompleksa na aktivnost' fotosistemy II v shpinate* [Effect of a new photosynthesis inhibitor [CuL2]Br2 complex on photosystem II activity in spinach]. *Cells*. 2022. 11(17). 2680. <https://doi.org/10.3390/cells11172680>

7. Kondrat'ev M.N., Larikova Yu.S., Davydova A.N. *Vtorichnye soedineniya lekarstvennykh rastenij kak potentsial'naya osnova dlya sozdaniya biogerbitsidov* [Secondary compounds of medicinal plants as a potential basis for the creation of biogerbiticides]. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoj i farmatsevticheskoy khimii* [Questions of biological, medical and pharmaceutical chemistry]. 2017. T. 20. 5. pp. 36-40.

8. Lysenko N.N. *Gerbitsidy v posevakh soi* [Herbicides in soybean crops]. *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science]. 2018. 2(71). pp. 21-28.

9. Pushkarev V.G., Alekseeva A.D. *Produktivnost' kapusty belokochannoj pri ispol'zovanii gerbitsidov* [Productivity of white cabbage when using herbicides]. *Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii* [Proceedings of the Velikie Luki SAA]. 2022. 2. pp. 33-38. DOI 10.56323/23088583_2022_02_33

10. Rutts A.V., Sokolova A.V., Kuznetsova L.N. *Vliyanie gerbitsidov na produktivnost' kartofelya v Chelyabinskoy oblasti* [The influence of herbicides on potato productivity in the Chelyabinsk region]. *Aktual'nye voprosy sadovodstva i kartofelevodstva* [Topical issues of horticulture and potato growing]. Compilation of works of the 3rd International Remote Scientific and Practical Conference. 2020. pp. 217-222

11. Yalovik L.I. *Effektivnost' khimicheskoy obrabotki posadok kartofelya ot sornyakov v usloviyakh Pskovskoy oblasti* [The effectiveness of potato plantings chemical treatment from weeds in the conditions of the Pskov region]. *Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii* [Proceedings of the Velikie Luki SAA]. 2022. 2. pp. 49-55. DOI 10.56323/23088583_2022_02_49

Цитирование. Яценко Е.С., Лейтес Е.А., Петухов В.А., Клочков Г.К., Ермакова А.В. Разработка безопасного гербицида на основе растительного сырья // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 19-23. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.003.19-23

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Yatsenko E.S., Leites E.A., Petukhov V.A., Klochkov G.K., Ermakova A.V. Safe Herbicide Development Based on Plant Raw Materials. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 19-23. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.003.19-23

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Оценка современных процессов опустынивания в Республике Дагестан на примере локального песчаного массива

Валерия Витальевна Дорошенко , м.н.с., doroshenko-vv@vfanc.ru, ORCID 0000-0003-3253-1132,

Вера Васильевна Балынова, лаборант-исследователь –

лаборатория геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр

агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

(ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

В настоящей статье представлены результаты камерального и полевого исследования локальных процессов опустынивания на примере песчаного массива в Ногайской степи, засушливой местности, относящейся к Терско-Кумской низменности. Исследуемый участок административно относится к Ногайскому муниципальному району Республики Дагестан. В рамках исследования проведено камеральное ретроспективное дешифрирование материалов дистанционного зондирования Земли (Sentinel с пространственным разрешением 10 м) за пятилетний период (с 2017 по 2022 гг.). Полученные векторные материалы проанализированы в геоинформационной среде «QGIS 3.4», в статье приведены количественные данные, отражающие динамику площади массива. Общая площадь открытых песков увеличилась более чем в три раза, в результате пыльных бурь три небольших массива были объединены в один. Во время полевого исследования проведены измерения толщины наносов в различных точках участка, проведена фото- и видео-фиксация. По результатам дешифрирования и полевого обследования составлена схема песчаного массива с указанием толщины наносов и ключевых точек. Результаты исследований подтверждают общую для юга европейской части России тенденцию к резкому увеличению площадей открытых песков в связи с увеличением количества и интенсивности пыльных и песчаных бурь, ухудшением условий увлажнения и ростом поголовья скота.

Ключевые слова: Республика Дагестан, Ногайская степь, опустынивание, ГИС-технологии, геоинформационный анализ, дистанционное зондирование.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100311-3 «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях», НИР № 122020100405-9 «Картографическое моделирование состояния, функционирования и динамики процессов опустыненных территорий с применением информационных технологий», НИР № 122020100406-6 «Теоретические основы и математико-картографические модели функционирования агролесомелиоративных систем в защите почв от дефляции».

Поступила в редакцию: 05.10.2022

Принята к печати: 05.12.2022

Опустынивание – деградация земель в сухих субгумидных, полусухих и засушливых районах вследствие влияния разнообразных факторов. Особенно активно данный процесс развивается в южных регионах России, где наблюдается значительное увеличение площадей открытых песков и дефлированных территорий [3, 4, 8, 10].

Актуальность исследования обусловлена интенсификацией процессов опустынивания в регионе и увеличением количества и силы пыльных бурь, что приводит к образованию очагов опустынивания и участков, занятых песками, а также значительному изменению контуров и площадей существующих очагов [9]. Район исследования активно используется для выпаса скота, в связи с чем увеличение площадей песков представляет серьезную угрозу для сельскохозяйственного животноводства. В результате песчаных и пыльных бурь наносится серьезный вред инженерной инфраструктуре региона, засыпаются песком дороги с

асфальтированным покрытием и образуются глубокие выдутые рытвины на проселочных дорогах, что приводит к значительному ухудшению транспортной доступности для отдаленных населенных пунктов и чабанских точек (кошар) (рис. 1).

Целью исследования является проведение анализа развития песчаного массива с использованием дистанционных и полевых методов.

На территории Республики Дагестан было проведено камеральное дешифрирование разновременных мультиспектральных материалов дистанционного зондирования Земли, а также было проведено полевое исследование песчаного массива. Методика дешифрирования основывается на положении о том, что распределение пикселей растрового космического снимка по изображению, цвету и фототону позволяет судить о характеристиках объекта на момент съемки, в том числе в ретроспективе [3]. Камеральное картографирование с использованием материалов космической съемки позволяет с достаточной точностью и

меньшими трудозатратами определять очертания и площади песчаных массивов, проводить ретроспективное картографирование и планировать мелиоративные мероприятия для предотвращения дальнейшего роста массива. Однако для увеличе-

ния точности обработки изображения необходимо проведение либо предварительного полевого этаплонирования, либо последующей наземной верификации результатов на ключевых участках [3].



Рисунок 1. Нарушенная в результате пыльной бури линия электропередачи (слева сверху); частично засыпанная в результате пыльной бури дорога с асфальтовым покрытием (слева внизу); выдувание полотна грунтовой дороги (справа) (44.619 с.ш., 45.951 в.д.; 06.09.2022 г.)

Материалы и методика исследований. Исследуемый песчаный массив находится в северной части Ногайского муниципального района Республики Дагестан. Данная местность имеет незначительный уклон и находится на территории Терско-Кумской низменности, точнее – на территории Ногайской степи. Климат вышеуказанной территории засушливый, годовое количество осадков составляет менее 300 мм (по данным ближайшей метеостанции в г. Южносухокумске). В последние годы отмечаются засухи и частые пыльные бури, что создает благоприятные условия для развития процессов опустынивания в регионе [1, 5, 6, 9]. В зоне исследования площади опустынивания и деградированных территорий значительно возросли за последние десятилетия [7].

Основной сельскохозяйственной специализацией региона является животноводство, преимущественно разведение овец и коз и отгонное животноводство, что обуславливает высокую сезонную нагрузку на пастбища и увеличивает риск развития деградации и опустынивания. Лишенные растительности вследствие превышения пастбищной нагрузки участки более уязвимы для ветровой эрозии, а при совместном воздействии этих факторов в условиях недостаточного увлажнения образуются песчаные массивы и подвижные пески [7].

Для ретроспективного картографирования методом визуального экспертного дешифрирования были выбраны находящиеся в свободном доступе мультиспектральные спутниковые снимки Sentinel с пространственным разрешением 10 м. Для выявления границ песчаного массива и зарастающих травянистой и кустарниковой растительностью участков составлено комбинированное изображение в комбинации «естественные цвета» (рис. 2).

Важным фактором при выборе снимков для ретроспективного картографирования являлись песчаные бури. Интенсивные и частые песчаные и пыльные бури стали развиваться в зоне исследования с 2018 года; очень интенсивные пыльные бури наблюдались в сентябре-октябре 2020 года, в июне 2021 года; в 2022 году мощные пыльные бури наблюдались в мае, а также в августе. Даты космической съемки подобраны таким образом, чтобы отражать состояние местности до и после самых масштабных пыльных бурь за рассматриваемый период.

Для дешифрирования песков и растительности визуальным способом применялись прямые дешифровочные признаки: цвет, структура. Выявленные по результатам дешифрирования объекты были внесены в векторные слои для последующей обработки [11].

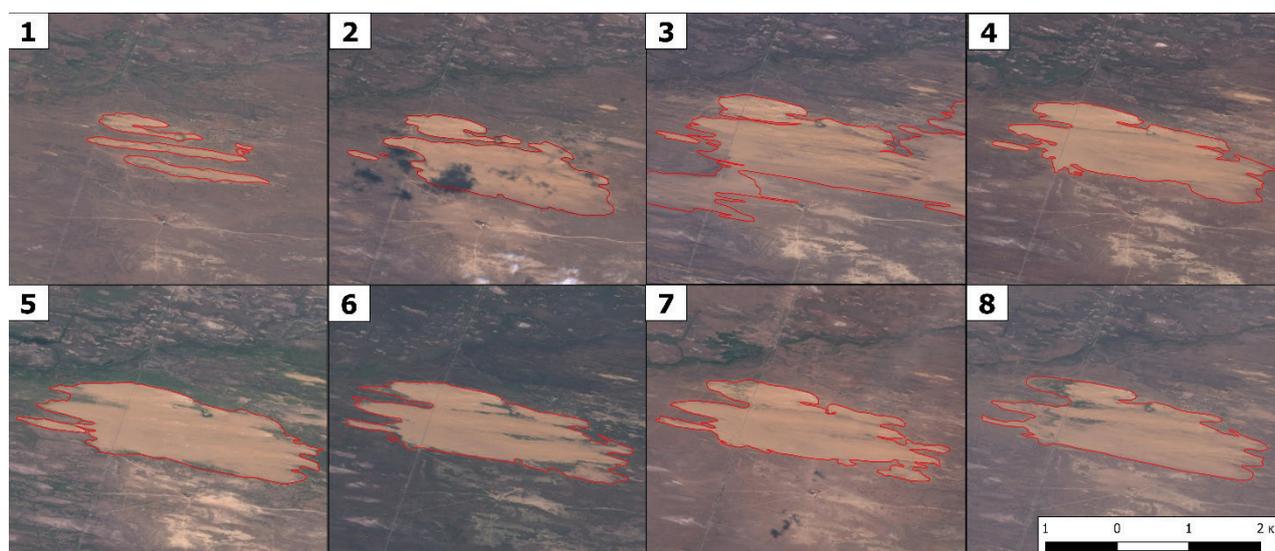


Рисунок 2. Динамика развития песчаного массива (44.618 с.ш., 45.959 в.д.) на космических снимках Sentinel: 1. состояние на 21.07.2017; 2. состояние на 07.08.2020; 3. состояние на 08.10.2020; 4. состояние на 06.05.2021; 5. состояние на 15.07.2021; 6. состояние на 11.04.2022; 7. состояние на 08.06.2022; 8. состояние на 03.09.2022

Обработка материалов космической съемки, геоинформационный анализ, а также создание и редактирование векторных слоев производилось в программной среде «QGIS 3.4», статистическая обработка данных проводилась в «MS Excel».

Полевое обследование проводилось в сентябре 2022 года с использованием измерительных

приборов для установления мощности песчаных наносов, были выделены ключевые точки обследованных песчаных гряд и проведена фото и видео-фиксация.

Результаты и обсуждение. Ретроспективное картографирование позволило выявить динамику развития песчаного массива (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика площади песчаного массива

Дата съемки	Площадь массива (га)	Площадь открытых песков (га)	Площадь, покрытая растительностью (га)
Июнь 2017	104	81	23
Август 2020	317	315	2
Октябрь 2020	>1000	>1000	3
Май 2021	357	356	1
Июнь 2021	355	348	7
Апрель 2022	372	308	64
Июнь 2022	345	332	13
Сентябрь 2022	389	332	57

Площадь песчаного массива непрерывно возрастала в течение 5 лет, наиболее значительное увеличение этой площади наблюдается между 2017 и 2021 годами. В 2017 году существовало три узких и протяженных крупных песчаных массива со средней площадью 26,3 га, в 2020 году после пыльных бурь в конце сентября и начале октября образовался единый массив [8]. Общая площадь массива за исследуемый период увеличилась более чем в 3 раза с образованием песчаных наносов толщиной от 10 см до 5 м, а также выдуванием протяженных котловин, самые глубокие точки которых находятся более чем на 2 м ниже средней высоты поверхности, окружающей массив почвы. После пыльных бурь осенью 2020 г. образовались наносы общей площадью более 3 тыс. га, перенесенные ветром

или перекрытые растительностью уже к маю 2021 г. Площадь, занятая растительностью на открытом песке, варьирует не только в связи с пыльными бурями, но и в зависимости от времени года – в весенний период наблюдается наиболее активная вегетация [2].

По результатам камерального дешифрирования разновременных данных дистанционного зондирования Земли и полевых измерений составлена схема песчаного массива (рис. 3). На схеме изолинейным способом отмечены мощности песчаных наносов как высоты относительно прилегающей местности. Как понижения, так и возвышенности имеют вытянутую форму, соответствующую преобладающему направлению ветров (восточному) и направлению движения песчаных бурь [9].

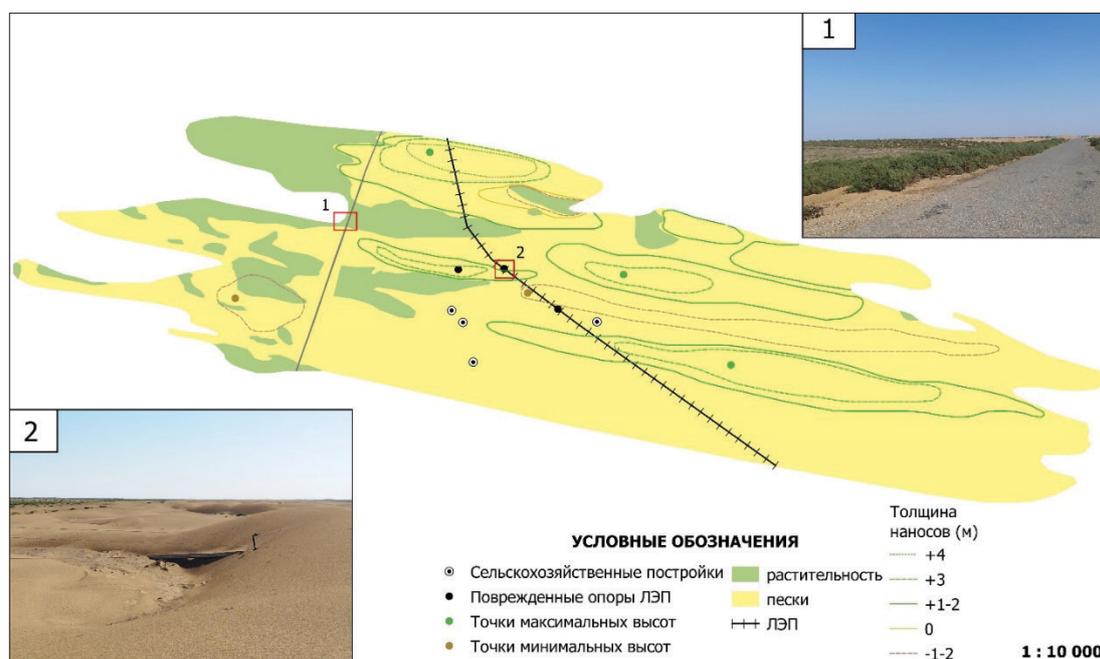


Рисунок 3. Схема исследованного песчаного массива (состояние на сентябрь 2022 г.)

Такая форма микрорельефа соответствует понятию песчаных гряд, которые формируются в условиях регулярных ветров в одном направлении путем выдувания песка из понижений и отложения его на образующиеся между понижениями гряды. При дальнейшем воздействии ветра песок продвигается вдоль гряды и способствует ее удлинению. Наиболее высокие точки располагаются вблизи

восточных оконечностей возвышенностей.

Растительность на открытом песке в сентябре 2022 г. представлена солянкой сорной (курай, *Salsola tragus* L.) – однолетним сорным растением, относящимся к жизненной форме перекаати-поле (рис. 4). Как видно на рисунке 2, значительные по площади участки были заняты солянкой сорной в течение полугода.



Рисунок 4. Солянка сорная (курай) на исследуемом песчаном массиве (06.09.2022 г.)

Дальнейшее развевание песков в западной части массива, занятых солянкой сорной, не происходило, в том числе во время интенсивной пыльной бури, продолжавшейся с 18 по 25 августа. Наибольшие территории, занятые солянкой сорной, относились к участкам с толщиной песчаных наносов не более метра, находящимся на окраине массива. Полученные данные о скорости разрастания солянки сорной могут быть использованы при составлении проектов фитомелиорации песчаных массивов и барханов. Солянка сорная является плохо поедаемым видом для травоядных, в связи с чем отсутствует угроза уничтожения растительности скотом. При этом распространение курая происходит в основном самосевом [2].

В результате пыльных и песчаных бурь четыре группы хозяйственных построек, относящихся к кошарам, были полностью окружены и засыпаны песком, что привело к их запустению. Дальнейшее использование данных строений в сельскохозяйственных целях не представляется возможным.

Заключение. В результате ретроспективного картографирования с использованием космических снимков выявлен значительный рост площади исследуемого песчаного массива в Ногайском районе Республики Дагестан. Полевые исследования подтвердили результаты дешифрирования, позволили определить видовой состав растительности на открытых песках.

Резкое увеличение площади песчаного массива оказало значительное негативное влияние на располагающиеся поблизости хозяйственные постройки. Причиной развития массива представляется влияние песчаных бурь, на что указывает толщина наносов и форма элементов микрорельефа в границах песчаного массива, вытянутых в направлении преобладающих ветров.

Использованная в процессе исследования методика, включающая предварительное ретроспективное картографирование и последующую полевую верификацию результатов, показала высокую точность. Полученные материалы позволяют оценивать скорость разрастания растений, способствующих закреплению открытых песков, и могут быть использованы при планировании мелиоративных мероприятий.

тивных мероприятий.

Литература:

1. Абдулаев К.А., Магомедова А.З. Климатические условия северной части приморской низменности Дагестана // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2007. № 1(1). С. 113-120.
2. Ибрагимов К.М., Гамидов И.Р., Умаханов М.А. Экологическое состояние и научные аспекты повышения продуктивности деградированных Кизлярских пастбищ // Горное сельское хозяйство. 2017. № 4. С. 50-55.
3. Кулик К. Н. Агроресомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. – Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
4. Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ опустынивания северо-западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 16-24.
5. Магидов С.Х. Антропогенная деятельность и аридизация климата северной равнинной зоны Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. № 67. С. 326-329.
6. Стасюк Н.В., Добровольский Г.В., Залибеков З.Г. [и др.] Оценка деградации и опустынивания почвенного покрова северного равнинного Дагестана // Экология. 2004. № 3. С. 172-178.
7. Усманов Р.З., Баламирзоев М.А., Котенко М.Е., Бабаева М.А., Осипова С.В. Проблемы борьбы с деградацией и опустыниванием Кизлярских пастбищ в связи с аридизацией климата и антропогенных воздействий на природные экосистемы // Юг России: экология, развитие. 2010. №3. С. 117-122.
8. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 291-297. DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297
9. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Последствия пыльных бурь на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 17. №7. С. 270-275.
10. Шинкаренко С. С. Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155-168.
11. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. A new approach to the monitoring of desertification centers. Arid Ecosystems, 2011. Vol. 1. No. 3. P. 125-130. DOI: 10.1134/S2079096111030127

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29

Assessment of Contemporary Desertification Processes in the Republic of Dagestan on the Example of a Local Sand Massif

Valeriya V. Doroshenko ✉, Junior Researcher, doroshenko-vv@vfanc.ru, ORCID 0000-0003-3253-1132,

Vera V. Balynova, Laboratory Assistant-Researcher –

Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes –
Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru,
400062, Universitetskij pr-t., 97, Volgograd, Russia

Abstract. This article presents the results of a cameral and field study of local desertification processes on the example of a sandy massif in the

Nogai steppe, an arid area belonging to the Terek-Kuma lowland. The investigated site administratively belongs to the Nogai municipal district of the

Republic of Dagestan. As part of the study, a camera retrospective decryption of Earth remote sensing materials (Sentinel with a spatial resolution of 10 m) was carried out over a five-year period (from 2017 to 2022). The obtained vector materials are analyzed in the geoinformation software "QGIS 3.4", the article presents quantitative data reflecting the dynamics of the sandy massif area. The total area of open sands has more than tripled, as a result of dust storms, three small massifs have been combined into one. During the field study, measurements of the sediments thickness were carried out at various points of the site, photo

and video fixation was carried out. Based on the results of decryption and field survey, a diagram of the sand massif was drawn up indicating the thickness of sediments and key points. The research results confirm the general trend for the south of the European part of Russia towards a sharp increase in the area of open sands due to an increase in the number and intensity of dust and sand storms, deterioration of humidification conditions and an increase in livestock.

Keywords: Republic of Dagestan, Nogai steppe, desertification, GIS technologies, geoinformation analysis, remote sensing

Received: 05.10.2022

Accepted: 05.12.2022

Translation of Russian References:

1. Abdulaev K.A., Magomedova A.Z. *Klimaticheskie usloviya severnoj chasti primorskoj nizmennosti Dagestana* [Climatic conditions of the northern part of the coastal lowland of Dagestan]. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences]. 2007. 1(1). pp. 113-120.

2. Ibragimov K.M., Gamidov I.R., Umakhanov M.A. *Ekologicheskoe sostoyanie i nauchnye aspekty povysheniya produktivnosti degradirovannykh Kizlyarskikh pastbishch* [Ecological state and scientific aspects of increasing productivity of degraded Kizlyar pastures]. *Gornoe sel'skoe khozyajstvo* [Mountain agriculture]. 2017. 4. pp. 50-55.

3. Kulik K.N. *Agrolesomeliativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes]. Volgograd.VNIALMI Publ. house. 2004. 248 p.

4. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. *Geoinformatsionnyy analiz opustynivaniya severo-zapadnogo Prikaspiya* [Geoinformation analysis of the north-western Near-Caspian region desertification]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2020. T. 26. 2(83). pp. 16-24.

5. Magidov S.Kh. *Antropogennaya deyatelnost' i aridizatsiya klimata severnoj ravninnoj zony Dagestana* [Anthropogenic activity and aridization of the northern plain zone of Dagestan climate]. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* [Works of the Institute of Geology of the Daghestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2016. 67. pp. 326-329.

6. Stasyuk N.V., Dobrovol'skij G.V., Zalibekov Z.G. [et al.] *Otsenka degradatsii i opustynivaniya pochvennogo*

pokrova severnogo ravninnogo Dagestana [Assessment of the northern flatland Dagestan soil cover degradation and desertification]. *Ekologiya* [Ecology]. 2004. 3. pp. 172-178.

7. Usmanov R.Z., Balamirzoev M.A., Kotenko M.E., Babaeva M.A., Osipova S.V. *Problemy bor'by s degradatsiej i opustynivaniem Kizlyarskikh pastbishch v svyazi s aridizatsiej klimata i antropogennykh vozdeystvij na prirodnye ekosistemy* [Problems of combating degradation and desertification of Kizlyar pastures in connection with climate aridization and anthropogenic impacts on natural ecosystems]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2010. 3. pp. 117-122.

8. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. *Otsenka ploshchadi opustynivaniya na yuge evropejskoj chaste Rossii v 2021 g* [Assessment of the desertification area in the south of the European part of Russia in 2021]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of remote sensing of the Earth from space]. 2021. T. 18. 4. pp. 291-297. DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297

9. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. *Posledstviya pyl'nykh bur' na yuge evropejskoj chasti Rossii v sentyabre-oktyabre 2020 g* [Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September-October 2020]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of remote sensing of the Earth from space]. 2021. T. 17. 7. pp. 270-275.

10. Shinkarenko S.S. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika opustynivaniya na Chernykh zemlyakh* [Spatial and temporal dynamics of desertification on Black lands]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problems of remote sensing of the Earth from space]. 2019. T. 16. 6. pp. 155-168.

Цитирование. Дорошенко В.В., Бальнова В.В. Оценка современных процессов опустынивания в Республике Дагестан на примере локального песчаного массива // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 24-29. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Doroshenko V.V., Balynova V.V. Assessment of Contemporary Desertification Processes in the Republic of Dagestan on the Example of a Local Sand Massif. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 24-29. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Изучение влияния факторов опустынивания на всхожесть семян Пырея удлиненного (*Agropyron elongate*) и Житняка (*Agropyron*)

Анна Владиславовна Федотова ✉, д.б.н., профессор, e-mail: fedotova@asu.edu.ru, ORCID: 0000-0003-0241-1797, профессор кафедры почвоведения, землеустройства и кадастров;

Людмила Вячеславовна Яковлева, д.б.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0241-1797, заведующий кафедрой почвоведения, землеустройства и кадастров;

Амина Ханпашаевна Хасанова, м.н.с. лаборатории экологии и охраны почв;

Карина Ильдусовна Сизоненко, м.н.с. лаборатории экологии и охраны почв;

Спасенков Эдуард Витальевич, аспирант –

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева» (ФГБОУ ВО АГУ им. В.Н. Татищева), e-mail: asu@asu.edu.ru, 414056, ул. Татищева 20а, г. Астрахань, Россия

*Восстановление опустыненных деградированных пастбищ требует тщательного подбора фитомелиорантов под конкретные почвенно-климатические условия. Для перспективного моделирования в засушливых регионах видового состава кормовых угодий необходимо изучить степень устойчивости растений к стрессовым факторам опустынивания. Актуальны вопросы определения лимитирующих факторов и устойчивости конкретных видов фитомелиорантов к их проявлению. В данной работе предложена новая методология исследования влияния основных факторов опустынивания, таких как влажность почв, гранулометрический состав и солевое состояние, на всхожесть многолетних кормовых трав – фитомелиорантов. Представлены результаты имитационного физического моделирования процессов опустынивания в условиях лабораторного эксперимента. Приведены результаты изучения влияния факторов опустынивания на всхожесть Житняка узкоколосого (*Agropyrum desertorum*) и Пырея удлиненного (*Elytrigia elongata* (Host) Nevski). Количественные показатели факторов и их вариабельность устанавливались исходя из имеющихся у авторского коллектива экспериментальных результатов определения почвенных свойств. Для каждого варианта проводили соответствующие измерения (количество всходов, величина остаточной влажности). Полученные данные подвергались статистическому анализу в пакете Statistica v.12 и среде программирования R. Установлено, что Житняк узкоколосый более устойчив к низким значениям влажности почвы и высокому солесодержанию в ней. В свою очередь Пырей удлиненный в целом показывает более высокую всхожесть для не экстремальных режимов почв. Данный подход перспективен и будет использован для разработки программного обеспечения моделирования состава травостоя на опустыненных территориях при заданных почвенных условиях.*

Ключевые слова: опустынивание, свойства почвы, всхожесть, пырей, житняк, имитационное моделирование, статистический анализ.

Выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» Астраханского государственного университета им. В.Н. Татищева.

Поступила в редакцию: 27.09.2022

Принята к печати: 30.11.2022

Опустынивание как один из видов деградации земель засушливых областей и регионов Земли происходит на фоне комплексного воздействия хозяйственной деятельности человека и естественных природных процессов. Однако последствия влияния факторов различаются: природные влияют на интенсивность развития процессов, вызванных антропогенной нагрузкой, хозяйственные же факторы провоцируют усиление влияния природных факторов. То есть один фактор усиливает другой. Глобальные изменения климата усугубляют развитие опустынивания [16, 29]. К наиболее подверженным опустыниванию регионам РФ относятся Астраханская и Волгоградская области, Республика Калмыкия и Республика Дагестан.

В условиях нарастающего числа засух основным фактором роста и развития растений в аридных зонах является необходимость достаточного

обеспечения почвы влагой. Климатические особенности засушливых территорий, в том числе Астраханской области, характеризуются резко ограниченным количеством осадков (менее 200 мм/год). Почвы региона содержат значительное количество солей, которые в засушливые периоды кристаллизуются. Для большинства растений, особенно культурных, такие условия являются стрессовыми, и перенести их растительность не в состоянии, отчего нередко погибает.

Традиционно природную зону, включающую Астраханскую область, относили к зоне полупустынь. По классификации почв России [4] регион относится к зоне северных пустынь. Действительно, тенденция последнего времени и значительная экологическая проблема заключается в том, что полупустыни постепенно превращаются в пустыни.

Пастбища региона испытывают значительную

нагрузку, усугубляемую неконтролируемым выпасом скота. Почва лишается растительного покрова, турбируется, подвергается эрозии и перестает выполнять свои биосферные функции. Прогрессируют процессы опустынивания.

Состояние земельных угодий на юге России близко к экологическому бедствию. Для борьбы с опустыниванием разработаны мероприятия по обводнению пастбищ, выводу скота с деградированных земель, работы по закреплению песков и фитомелиорации [4, 9, 15, 12, 21]. Однако на местном уровне эта работа проводится в недостаточных масштабах и часто неэффективна. Необходима научно-методологическая основа мероприятий по борьбе с опустыниванием и деградацией земель с учетом региональных особенностей.

Проводимые фитомелиоративные мероприятия по восстановлению опустыненных территорий, как правило, осуществляется двумя способами:

- предоставление почвам отдыха (участки способны к восстановлению при размещении на одном квадратном метре не менее трех живых многолетних растений), за счет чего происходит естественное восстановление деградированных и опустыненных пастбищ [19];

- выполнение фитомелиоративных работ, способствующих, в том числе, закреплению подвижных песков [13, 17].

К числу эффективных фитомелиоративных приемов по восстановлению опустыненных территорий, особенно пастбищ, относится подсев и посев засухо- и солеустойчивых трав местной аборигенной флоры [5]. Многочисленные исследования показали, что перспективными видами растений для фитомелиорации опустыненных почв являются кормовые кустарники, полукустарничники и многолетние травы (галофиты и ксерофиты) [30, 2, 10, 14].

Адаптация многолетних кормовых культур к жестким условиям засушливой зоны Юга России – актуальная задача, решение которой позволит остановить распространение опустынивания и восстановит кормовые ресурсы. По нашему мнению, на центральном месте в этом аспекте находятся почвенные условия. Анализ литературы показал, что фитомелиорация традиционно используется для улучшения почв различных зон [1, 8, 25] и сохранения их плодородия [20, 24]. Исследования, связанные с обратной задачей, то есть подбором фитомелиорантов под конкретные почвенные условия, практически отсутствуют. Для эффективного использования многолетних кормовых культур в фитомелиоративных мероприятиях необходимо изучение влияния основных почвенных факторов на рост и развитие растений. Понимание взаимозависимостей позволяет установить пороги устойчивости к опустыниванию конкретных видов растительности. Учитывая значительную комплексность почвенного покрова, наличие сведений о почвенных свойствах и реакцию растений (каждого вида) на почвенные фак-

торы, позволит научно-обоснованно формировать состав травостоя и значительно повысить эффективность фитомелиорации. Решение данной задачи требует проведения значительной экспериментальной работы для формирования базы данных лимитирующих факторов для каждого вида фитомелиоранта и разработки соответствующего программного обеспечения. Данная работа является первой в этом аспекте, где на примере двух известных видов фитомелиорантов показана методология изучения и отбора растений при известных почвенных условиях.

Целью исследования явилось изучение особенностей влияния факторов опустынивания почв на рост и развитие многолетних кормовых трав Житняка узкоколосого и Пырея удлиненного.

Для достижения цели исследования проводили лабораторные эксперименты, основанные на имитационном моделировании процессов опустынивания почв, по влиянию основных факторов опустынивания (гранулометрический состав (GS), влажность почв (W) и содержание солей в почве (Sol)) на рост и развитие растений.

Среди прочих одними из перспективных фитомелиорантов являются многолетние кормовые травы Житняк узкоколосый (*Agropyrum desertorum*) и Пырей удлиненный (*Elytrigia elongata* (Host) Nevski) [6].

Пырей удлиненный имеет высокую засухоустойчивость и морозостойкость, продуктивность и долголетие, устойчив к вредителям и болезням. В кормовой массе содержится много питательных веществ. Хорошо выращивается в аридных условиях с количеством осадков менее 200 мм в год [26]. Хорошо поедается животными и относительно устойчиво переносит вытаптывание.

Житняк узколистный обладает морозостойкостью, высокой засухоустойчивостью, выносит длительную засуху, морозостоек, переносит засоление. Возможно затенение покровными культурами при условии достаточного увлажнения при ранневесеннем посеве. Относится к многолетним злаковым травам, является ценной кормовой культурой [23]. Эти культуры были выбраны в качестве объектов исследования в данной работе.

Методы исследования. Для достижения цели работы проводили лабораторные и полевые определения выбранных физических свойств.

Изучение влияния факторов опустынивания на всхожесть кормовых трав проводили с использованием модельных опытов. В контейнерах размерами 1 × 1 × 1 м производили посев семян (100 шт.) Пырея и Житняка. В качестве основы использовалась агрогенная аллювиально-дельтовая луговая супесчано-легкосуглинистая почва на супесчаном слабослоистом дельтовом аллювии, отобранная на равнинной территории Приволжского района Астраханской области, в 1 км от п. Начало на юго-запад. Для получения адекватных результатов конструировали почвенные смеси, в которых создавали различные условия с различными почвен-

ными свойствами в соответствии с указанными выше факторами опустынивания:

- 4 варианта почвенных смесей с различным гранулометрическим составом: глина (Clay), почва : глина = 1 : 1 (Clay.Soil), почва : песок = 1 : 1 (Sand.Soil), песок (Sand)). Выбор определялся исходя из комплексности почвенного покрова в Астраханской области;

- 5 вариантов различной степени засоления почвы: содержание NaCl - 0.585 г/л, 2.34 г/л, 4.39 г/л, 5.85 г/л, 11.7 г/л;

- 3 варианта влажности почвы в соответствии с основными почвенно-гидрологическими константами (ПГК): влажности завядания (B3, VZ), наименьшей влагоемкости (НВ, NV), 0.7НВ (NV_0.7). Почвенно-гидрологические константы определяли традиционными методами для выбранной почвы, принятыми в физике почв и почвоведении [18].

Для каждого варианта проводили наблюдения:

- за состоянием влажности почвы с целью выявления почвосмеси с наибольшим влагосодержанием;

- за всхожестью семян растений в каждом варианте.

Имеющиеся массивы экспериментальных данных структурировали по видам растений. Для каждого растения проводили разделение на выборки

в зависимости от вариативности изучаемого фактора (Sol – внесение различных концентраций солей при поливе, W – значения влажности почвы, GS – гранулометрический состав). Полученные эмпирические данные структурировали в виде выборок данных по каждому свойству относительно вида растения. Всего было проанализировано 11 выборок для каждого растения.

Результаты обрабатывали с использованием среды программирования R, широко используемой как статистическое программное обеспечение для анализа данных. Принятый уровень вероятности $p = 0.95$. Для проверки нормального закона распределения применялся тест Шапиро-Уилка. Для сравнения выборок использовался непараметрический критерий Манна-Уитни и дисперсионный анализ.

Результаты и их обсуждение. Гранулометрический состав почв является важным фактором, особенно для аридных территорий, определяющий в первую очередь обеспеченность почвы влагой [11]. Ранее [28] было изучено влияние различного гранулометрического состава (по условиям эксперимента) на величину водоудерживающей способности почвы. Экспериментально изучали всхожесть семян в различных почвосмесях смоделированного гранулометрического состава. Результаты представлены на рисунках 1.

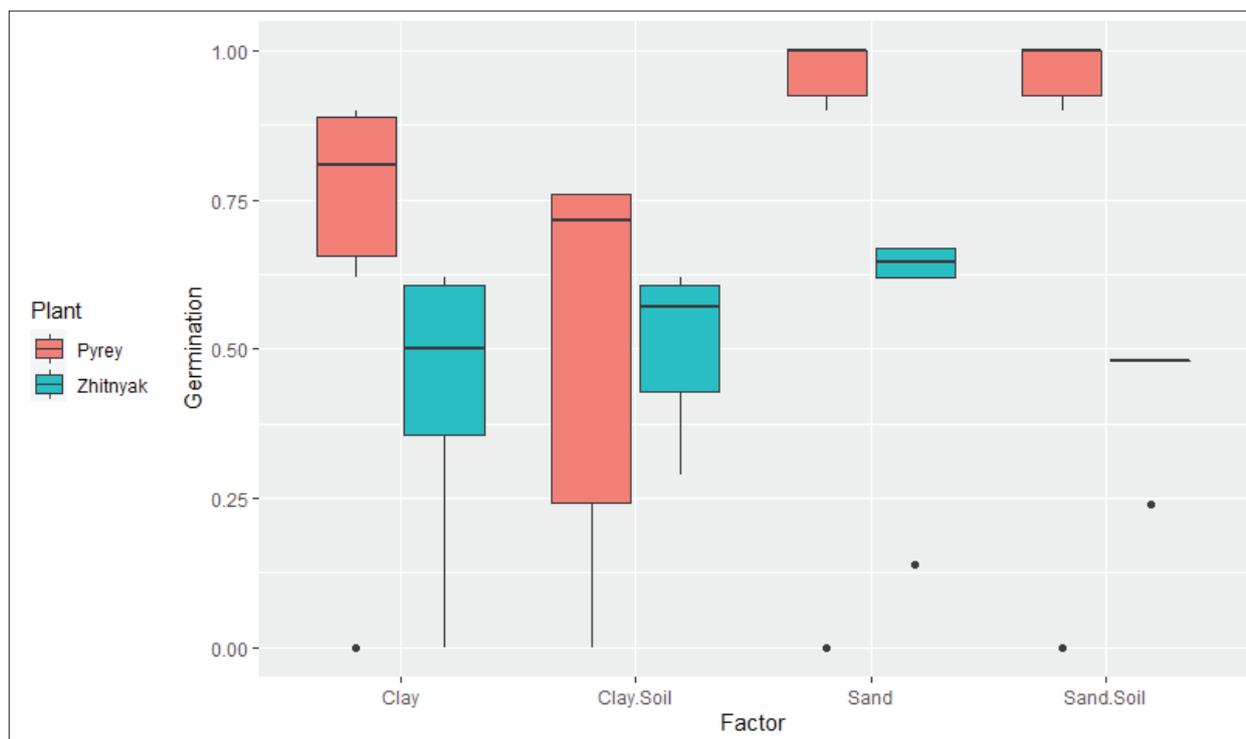


Рисунок 1. Графики BoxPlot всхожести Житняка и Пырея в зависимости от гранулометрического состава почвы

Анализ данных показал, что всхожесть Пырея для всех изученных вариантов гранулометрического состава выше, чем для Житняка. Особенно это выражено для легких песчаных почвосмесей.

Статистический анализ (таблица 1) подтвердил, что разница между средним и медианным значениями для Пырея меньше, чем для Житняка.

Таблица 1 – Оценка средней всхожести при различном гранулометрическом составе почвы

Фактор г/состав	Пырей			Житняк		
	mean	median	sd	mean	median	sd
Песок	20.80	20.80	0.45	12.00	14.0	4.43
Глина	17.00	18.00	2.55	9.00	10.5	5.02
Песок-почва	20.80	21.00	0.45	9.17	10.0	2.04
Глина-почва	12.80	16.00	6.10	10.33	12.0	2.66

Можно утверждать, что для легких почв предпочтителен в качестве фитомелиоранта Пырей. Величина всхожести семян Житняка более подвержена вариабельности при изменении гранулометрического состава почвы.

Для Астраханской области одним из ведущих факторов в развитии опустынивания является за-

солонение почв [3, 22, 27]. Эффективность фитомелиорации в регионе зависит от количества солей в почве.

Модельный эксперимент позволил установить, как различаются величины всхожести Пырея и Житняка при различном солесодержании в почве. Результаты представлены на рисунке 2.

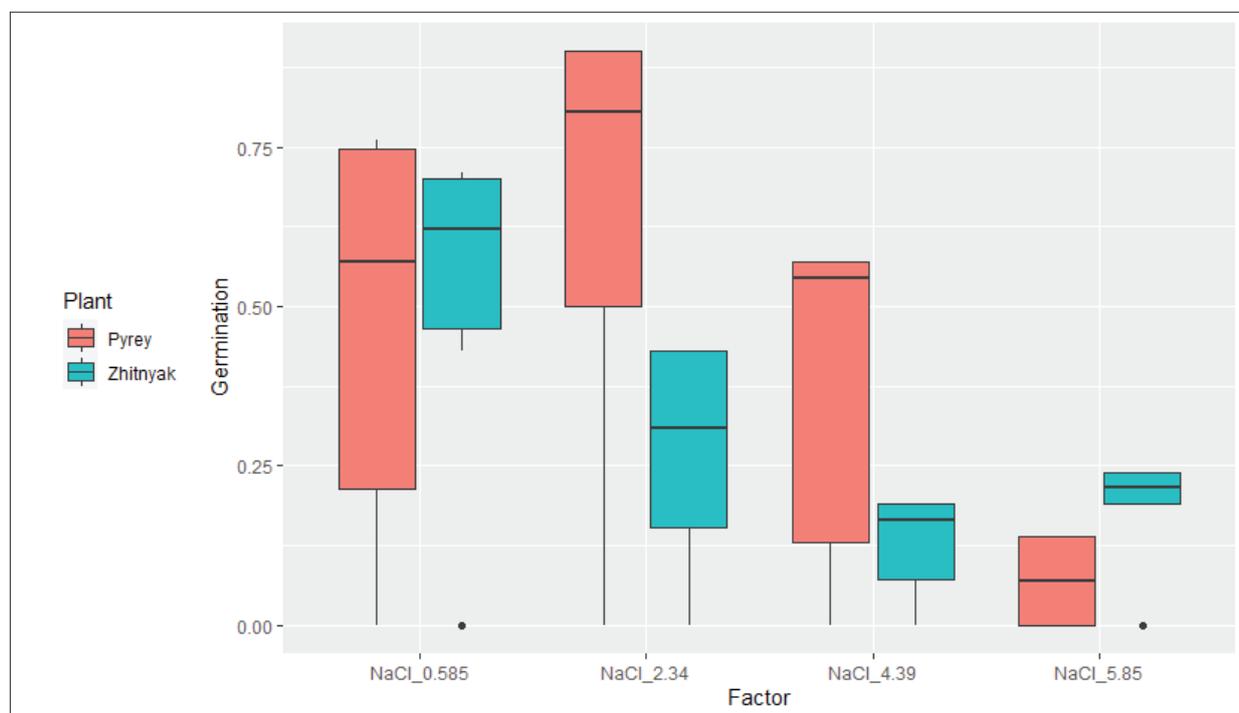


Рисунок 2. Графики BoxPlot всхожести Житняка и Пырея в зависимости от количества солей в почве

Отметим, что всхожесть семян для содержания солей 11,7 г/л отсутствует для растений и при обработке данных не учитывалась. Данное содержание солей является верхним лимитирующим фактором для всхожести выбранных растений.

Из рисунка 2 видно, что для слабозасоленных почв растения имеют сравнимые результаты, для средnezасоленных почв всхожесть Пырея выше, в варианте сильнозасоленной почвы всхожесть оказалась выше у Житняка. Это позволяет предположить, что солеустойчивость Житняка выше. Отметим, что из всех рассмотренных вариантов солевого состояния почвы квартильный размах для Пырея больше.

Это указывает на более низкую вариабельность всхожести семян Житняка по отношению к содер-

жанию солей.

Сравнение статистических характеристик (таблица 2) показало, что для всех вариантов, кроме самого высокого содержания солей, значение медианы выше, чем среднее. Значит распределение имеет правостороннюю асимметрию и наблюдается смещение большей части результатов в сторону высоких значений всхожести.

Для роста и развития растений основным фактором успеха является влагообеспеченность почвы. Наиболее показательными для изучения засухоустойчивости являются ПГК, характеризующие диапазон продуктивной влаги в почве. Экспериментально определенные величины ПГК: НВ = 40%, ВЗ = 4%, расчетная величина 07НВ = 28% для выбранной почвы.

Таблица 2 – Оценка средней всхожести при различном солевом состоянии почвы

Солевое состояние	Пырей			Житняк		
	mean	median	sd	mean	median	sd
NaCl_0.585	0.49	0.60	0.35	0.54	0.65	0.29
NaCl_2.34	0.68	0.85	0.38	0.28	0.33	0.19
NaCl_4.39	0.39	0.56	0.30	0.13	0.18	0.09
NaCl_5.85	0.08	0.08	0.08	0.19	0.23	0.10

Ожидаемо установлена сильная корреляционная зависимость всхожести семян от влажности почвы (Ккор > 0.9). Результаты показали, что влияние влажности почвы на всхожесть растений

не столь однозначно. Как видно из рисунка 3, наибольший разброс значений зафиксирован при влажности 0.7НВ и для Пырея он значительно выше, чем для Житняка.

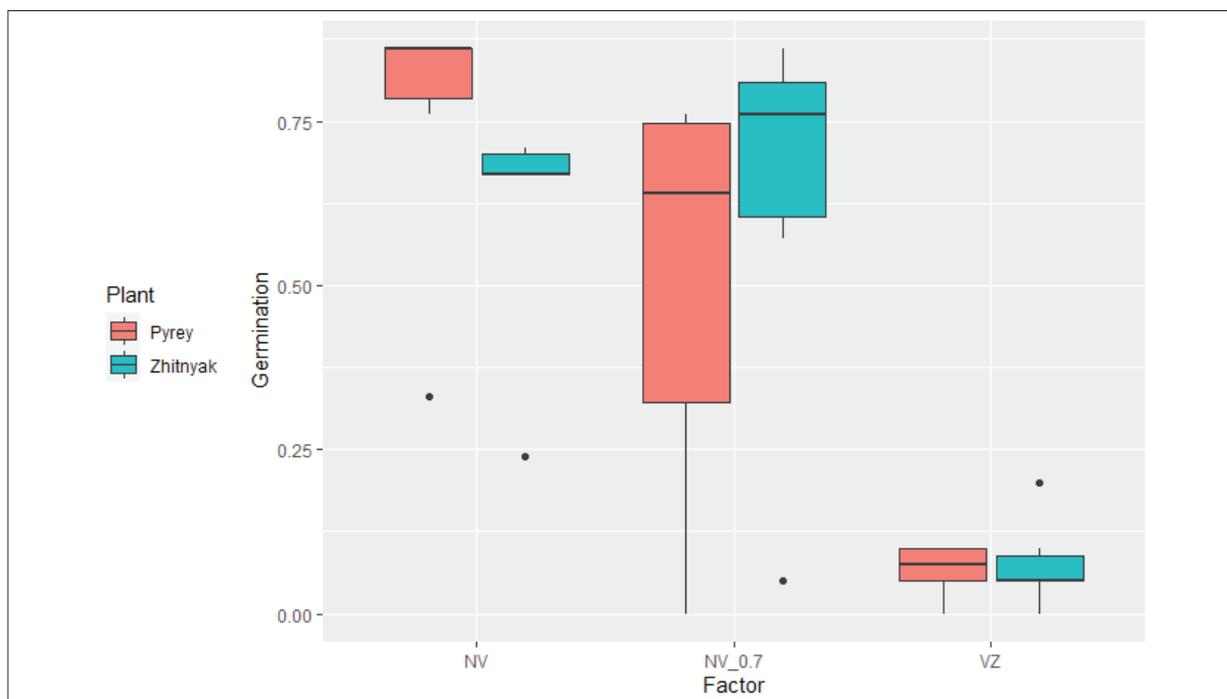


Рисунок 3. Графики BoxPlot всхожести Житняка и Пырея в зависимости от влажности почвы

То есть при оптимальном водообеспечении Житняк показал более высокие и стабильные результаты. Для ВЗ, являющейся нижним пределом продуктивной влаги, показатели всхожести ожидаемо низкие для растений. Средняя всхожесть семян Пырея незначительно выше. Утверждение, что Пырей более устойчивый к дефициту влаги в почве, в данной ситуации требует дополнительных исследований. Но можно предположить, что

использование Житняка в почвах с влажностью, на уровне гигроскопической, более предпочтительно.

Сравнение статистических характеристик (таблица 3) показало, что для исследованных вариантов с влажностью почвы, равной НВ и 0.7НВ, распределение имеет правостороннюю асимметрию (медиана выше, чем среднее значение).

Таблица 3 – Оценка средней всхожести при различной влажности почвы

W	Пырей			Житняк		
	mean	median	sd	mean	median	sd
NV	0.79	0.90	0.22	0.64	0.70	0.19
NV_0.7	0.53	0.65	0.33	0.68	0.83	0.33
VZ	0.07	0.01	0.04	0.11	0.13	0.07

Для влажности, равной влажности завядания, наблюдается левосторонняя асимметрия для Пырея. Это подтверждает гипотезу о более высокой засухоустойчивости Житняка.

Получение адекватных и достоверных результатов сравнимости изменений всхожести для растений в результате изменения почвенных факторов предполагает использование статистического критерия. В данной работе интерес представляет проверка гипотезы о значимости различий этих выборок по видам растений. Для этого первым этапом проводили проверку всех выборок на нормальность закона распределения методом Шапиро-Вилкоксона.

Результаты теста Шапиро-Вилкоксона показали, что имеющиеся выборки нормальному закону распределения не соответствуют. Поэтому для проверки гипотезы о значимости различий между двумя независимыми выборками использовали

непараметрический Критерий Краскела-Уоллиса, который не предполагает нормальности данных и гораздо менее чувствителен к выбросам.

Критерий Краскела-Уоллиса предназначен для проверки равенства медиан нескольких выборок. Результаты представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, всхожесть семян исследуемых растений имеет статистически значимые различия для вариантов гранулометрического состава для песка (p -value = 0.02) и соотношения песок : почва = 1 : 1. По отношению к содержанию влаги в почве статистически значимыми являются результаты для влажности, соответствующей НВ.

Кроме того, имеются значимые различия всхожести. Значит исследованные виды растений имеют статистически значимые различия всхожести: на легких почвах и при влажности, соответствующей НВ, в этих случаях предпочтения следует отдавать Пырею.

Таблица 4 – Результаты теста Краскела-Уоллиса

Фактор/выборка	Kruskal-Wallis chi-squared	p-value
НВ	4.5732	0.0325*
0.7НВ	1.2742	0.2590
ВЗ	0.0288	0.8653
Песок	3.8967	0.0484*
Почва-Песок	4.1250	0.0422*
Почва-Глина	0.9429	0.3315
Глина	3.4637	0.0627
NaCl_0.585	0.1051	0.7457
NaCl_2.34	3.2743	0.0704
NaCl_4.39	1.3114	0.2521
NaCl_5.85	5.0056	0.0253*

* - статистически значимые различия

Высокие показатели всхожести Пырея при влажности, соответствующей НВ, позволяют использовать его при фитомелиорации затопляемых во время половодья пастбищ. Наиболее важным результатом является значимое различие всхожести для содержания солей в почве на уровне 5.85 г/л, где Житняк проявил более высокую солеустойчивость.

Выводы. Использование имитационного физического моделирования процессов опустынивания в условиях лабораторного эксперимента позволило оценить влияние факторов опустынивания на всхожесть Житняка узкоколосого (*Agropyrum desertorum*) и Пырея удлиненного (*Elytrigia elongata* (Host) Nevski). Результаты экспериментальных определений и их статистический ана-

лиз показали, что всхожесть выбранных растений зависит от ряда почвенных факторов, таких как гранулометрический состав, влажность и солесодержание почв.

Анализ всех полученных результатов позволяет сделать вывод, что семена Житняка более чувствительны к изменениям почвенных факторов, особенно к изменению гранулометрического состава. При стрессовых условиях в виде высокого солесодержания в почве для использования предпочтителен Житняк, в то время как Пырей обладает более выраженной засухоустойчивостью и в целом показывает более высокую всхожесть для более «щадящих» почвенных условий.

Данный подход предполагается использовать в дальнейшем для создания базы данных влияния

почвенных факторов на рост и развитие различных фитомелиорантов и дальнейшего компьютерного моделирования состава травостоя на опустыненных территориях при известных почвенных условиях.

Литература:

- Банкина Т.А., Железнова Т.Н., Горбовская А.Д. Изменение свойств почв при фитомелиорации // Природообустройство. 2014. № 2. С. 21-24
- Буянкин В.И., Назарова М.В. Роль многолетних трав в повышении продуктивности агроландшафтов полупустынной зоны Прикаспия // Кормопроизводство. 2021. № 5. С. 3-7.
- Ерошенко В.И., Зудбинов В.С. Экологические проблемы Калмыкии // Интернаука. 2021. №. 21-2. С. 64-65.
- Залибеков З. Г., Мамаев С. А., Биарсланов А. Б. [и др.] Об использовании пресных подземных вод засушливых регионов мира в борьбе с опустыниванием земель // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25. № 2(79). С. 3-12.
- Ибрагимов К.М. и др. Меры борьбы с опустыниванием земель и повышение продуктивности кизлярских пастбищ Неспублики Дагестан // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. 2018. С. 223-227.
- Ибрагимов К.М., Гамидов И.Р., Умаханов М.А. Восстановление и повышение продуктивного потенциала деградированных Кизлярских пастбищ // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Выпуск 67. 2016. С. 269-271.
- Классификация и диагностика почв России / Л.В. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342с.
- Котова Е.О. Эффективность применения сидератов как приема фитомелиорации серых лесных почв Орловской области // Вестник аграрной науки. 2020. №. 2 (83). С. 157-164.
- Кочуров Б.И. Лобковский В.А. Агроландшафтная система земледелия как фундаментальная технологическая программа борьбы с опустыниванием земель // Проблемы региональной экологии. 2021. № 2. С. 44-51.
- Кравцов В.В., Кравцов В.А., Капустин А.С. Сорта многолетних трав для создания и улучшения сенокосов и пастбищ в засушливых зонах Юга России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 52-55.
- Кулик К.Н. и др. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 16-24.
- Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. 2018. №1 (74). С. 5-12.
- Курочкина Л.Я., Димеева Л.А. Барьеры опустыниванию зональной растительности в аридной зоне Казахстана // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. № 67. С. 49-52.
- Лебедь Л.В., Гаврилова Л.П., Царева Е.Г. К агрометеорологическому обоснованию приемов улучшения аридных пастбищ путем фитомелиорации // Гидрометеорология и экология. 2009. №2 (53). С. 41-50.
- Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями / А.И. Беляев, К.Н. Кулик, А.С. Манаенков [и др.]. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 68с.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидации последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Том. 3. М.: ООО «Издательство МБА», 2021. 700с.
- Петров В. И., Власенко М. В. Мелиоративные методы восстановления продуктивности земель северо-западного Прикаспия // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. №. 1. С. 11-16.
- Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв / Е. В. Шеин, Т. А. Архангельская, В. М. Гончаров и др. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 198 с.
- Приказ и.о. Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 27 апреля 2017 года № 185. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 18 мая 2017 года № 15128.
- Пуртова Л.Н. и др. Влияние фитомелиорации на показатели плодородия агрогенных почв Приморья // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 5. С. 639.
- Ростоцкий С.Б. Международный научный проект ЮНЕП/СССР «Борьба с опустыниванием путем комплексного развития» // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 2. С. 132-139.
- Салина Ю.Б. Засоление как критический фактор плодородия земель Астраханской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 12. С. 5-8.
- Семенютина А.В. Эколого-биологические возможности введения в культуру кормовых кустарников и полукустарников в условиях юго-востока ЕТС // Лесомелиорация аридных пастбищ: сборник научных трудов. Вып. 2 (91). Волгоград, 1987. С.16-24.
- Солодовников А.П. и др. Сохранение плодородия почвы и повышение продуктивности ячменя после фитомелиорации // Аграрный научный журнал. 2017. №. 2. С. 29-34.
- Сундуков Я.Т. и др. Повышение устойчивости агроэкосистем степного Зауралья Республики Башкортостан приемами фитомелиорации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1. С. 244-248.
- Тен А. Г. Кормопроизводство М.: Колос, 1982. 463 с.
- Федотова А. В., Яковлева Л. В. Почвенный покров дельты волги как фактор экологической безопасности Прикаспия // Проблемы комплексной безопасности Каспийского макрорегиона. 2021. С. 126-134.
- Федотова А.В., Яковлева Л.В., Сизоненко К.И., Хананова А.Х. Изучение водоудерживающей способности в почвосмесях разного гранулометрического состава / Каспий и глобальные вызовы: Материалы Международной научно-практической конференции, Астрахань, 23-24 мая 2022 года / Астрахань: «Астраханский государственный университет», 2022. С. 171-174.
- Яськов М.И. Деградация почв и опустынивание сухостепной и степной зоны России в условиях потепления климата // Алтай-трансграничный: природный, социально-экономический, культурный и рекреационный портал Евразии. 2020. С. 195-200.
- Kok B., George P. R. Saltland revegetation with salt tolerant shrubs. *Rangelands*. 1987. P.176-177.

Study of the Desertification Factors Effect on Seeds Germination of Tall Wheatgrass (*Agropyron elongate*) and Couch grass (*Agropyron*)

Fedotova Anna Vladislavovna ✉, D.B.N., Professor, e-mail: fedotova@asu.edu.ru, ORCID: 0000-0003-0241-1797, Professor of the Department of Soil Science, Land Management and Cadasters,

Yakovleva Lyudmila Vyacheslavovna, D.B.N., Associate Professor, ORCID: 0000-0003-0241-1797, Head of the Department of Soil Science, Land Management and Cadaster,

Khasanova Amina Khanpashaevna, Junior Researcher, Laboratory of Ecology and Soil Protection,

Sizonenko Karina Ildusovna, Junior Researcher, Laboratory of Ecology and Soil Protection,

Spasenkov Eduard Vital'evich, Postgraduate Student –

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Astrakhan Tatishchev State University” 414056, 20a Tatishchev str., Astrakhan, Russia

Restoration of desolate degraded pastures requires careful choice of phytomeliorants for specific soil and climatic conditions. For perspective modeling of the forage lands species composition in arid regions, it is necessary to study the plant resistance degree to the stress factors of desertification. The issues of detection the limiting factors and of specific types of phytomeliorants resistance to their phenomenon are relevant. In this paper, a new methodology is proposed to study the influence of the main desertification factors, such as soil moisture, granulometric composition and salt state, on the germination of perennial forage phytomeliorative herbs. The simulated physical modeling of desertification processes results in a laboratory experiment are presented. The results of studying the influence of desertification factors on the germination of narrow-spiked couch grass (*Agropyrum desertorum*) and elongated wheatgrass (*Elytrigia elongata* (Host) Nevski) are presented. Quantitative indicators of factors and their variability were established based on the soil properties detecting experimental results available to the team of authors. For each variant, appropriate measurements were carried out (the number of seedlings, the amount of residual moisture). The obtained data were subjected to statistical analysis in the Statistica v.12 package and the R programming environment. It has been established that narrow-spiked couch grass is more resistant to low soil moisture values and high salinity in it. In turn, the elongated wheatgrass as a whole shows higher germination for non-extreme soil regimes. This approach is promising and will be used to develop software for modeling the herbage composition in desolate areas under specified soil conditions.

Keywords: desertification, soil properties, germination, couch grass, wheatgrass, simulation modeling, statistical analysis

Received: 27.09.2022

Accepted: 30.11.2022

References:

1. Bankina T.A., Zheleznova T.N., Gorbovskaya A.D. *Izmenenie svoystv pochv pri fitomelioratsii* [Changes in soil properties during phytomelioration]. *Prirodobustroystvo* [Environmental management]. 2014. 2. pp. 21-24.
2. Buyankin V.I., Nazarova M.V. *Rol' mnogoletnikh trav v povyshenii produktivnosti agrolandshaftov polupustynnoy zony Prikaspiya* [The role of perennial grasses in increasing the semi-desert zone of the Near-Caspian Region agricultural landscapes productivity]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder production]. 2021. 5. pp. 3-7.
3. Eroshenko V.I., Zudbinov V.S. *Ekologicheskie problemy Kalmykii* [Environmental problems of Kalmykia]. *Internauka* [Inter-science]. 2021. 21-2. C. 64-65.
4. Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Birsanov A.B. [et al.] *Ob ispol'zovanii presnykh podzemnykh vod zasushlyvykh regionov mira v bor'be s opustynivaniem zemel'* [On the use of fresh groundwater in arid regions of the world in the combating against land desertification]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2019. T. 25. 2(79). pp. 3-12.
5. Ibragimov K.M. et al. *Mery bor'by s opustynivaniem zemel' i povyshenie produktivnosti Kizlyarskikh pastbishch Respubliki Dagestan* [Measures to combat land desertification and increase productivity of Kizlyar pastures of the Republic of Dagestan]. *Novye metody i rezul'taty issledovaniy landshaftov v Evrope, Tsentral'noj Azii i Sibiri* [New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia]. 2018. pp. 223-227.
6. Ibragimov K.M., Gamidov I.R., Umakhanov M.A. *Vosstanovlenie i povyshenie produktivnogo potentsiala degradirovannykh Kizlyarskikh pastbishch* [Restoration and increase of degraded Kizlyar pastures productive potential]. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. Issue 67. 2016. pp. 269-271.
7. Shishov L.V., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk: Oikumena Publ. house, 2004. 342 p.
8. Kotova E.O. *Effektivnost' primeneniya sideratov kak priema fitomelioratsii serykh lesnykh pochv Orlovskoy oblasti* [The siderates use effectiveness as a phytomelioration method for gray forest soils of the Orlyol region]. *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science]. 2020. 2 (83). pp. 157-164.
9. Kochurov B.I., Lobkovskij V.A. *Agrolandshaftnaya sistema zemledeliya kak fundamental'naya tekhnologicheskaya programma bor'by s opustynivaniem zemel'* [Agro-landscape system of agriculture as a fundamental technological program for combating the lands desertification]. *Problemy regional'noj ekologii* [Problems of regional ecology]. 2021. 2. pp. 44-51.
10. Kravtsov V.V., Kravtsov V.A., Kapustin A.S. *Sorta mnogoletnikh trav dlya sozdaniya i uluchsheniya senokosov i pastbishch v zasushlyvykh zonakh YUga Rossii* [Varieties of perennial grasses for the creation and improvement of hayfields and pastures in arid zones of Southern Russia]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural I.I. Ivanov Academy]. 2019. 2. pp. 52-55.
11. Kulik K.N. et al. *Geoinformatsionnyj analiz opustynivaniya Severo-Zapadnogo Prikaspiya* [Geoinformation analysis of the North-Western Near-Caspian Region desertification]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2020. T. 26. 2 (83). pp. 16-24.

12. Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.YU., Shinkarenko S.S. *K 30-letiyu "General'noj skhemy po bor'be s opustynivaniem Chernykh zemel' i Kizlyarskikh pastbishch"* [To the 30th anniversary of the "General Scheme for combating desertification of Black lands and Kizlyar pastures"]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2018. 1 (74). pp. 5-12.
13. Kurochkina L.YA., Dimeeva L.A. *Bar'ery opustynivaniyu zonal'noj rastitel'nosti v aridnoj zone Kazakhstana* [Barriers to desertification of zonal vegetation in the arid zone of Kazakhstan]. *Trudy instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Dagestan Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2016. 67. pp. 49-52.
14. Lebed' L.V., Gavrilova L.P., TSareva E.G. *K agrometeorologicheskomu obosnovaniyu priemov uluchsheniya aridnykh pastbishch putem fitomelioratsii* [To agrometeorological substantiation of techniques for improving arid pastures by phytomelioration]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and ecology]. 2009. 2 (53). pp. 41-50.
15. Belyaev A.I., Kulik K.N., Manaenkov A.S. [et al.] *Metodicheskie rekomendatsii po fitomeliorativnoj rekonstruktsii degradirovannykh i opustynennykh pastbishch Rossijskoj Federatsii innovatsionnymi ekologicheski bezopasnymi resursoberegayushchimi tekhnologiyami* [Methodological recommendations for the phytomeliorative reconstruction of degraded and desolate pastures of the Russian Federation with innovative environmentally safe resource-saving technologies]. Volgograd: FSC of agroecology RAS Publ. house, 2021. 68 p.
16. «Global'nyj klimat i pochvennyj pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstvij i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyajstvo)» [Global Climate and soil cover of Russia: drought manifestations, measures of prevention, combating, elimination of consequences and adaptation (agriculture and forestry)]. National report, 2021. 700 p.
17. Petrov V.I., Vlasenko M.V. *Meliorativnye metody vosstanovleniya produktivnosti zemel' severo-zapadnogo Prikaspiya* [Meliorative methods of restoring the North-Western Near-Caspian region lands productivity]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture]. 2017. 1. pp. 11-16.
18. Shein E.V., Arkhangel'skaya T.A., Goncharov V.M. et al. *Polevye i laboratornye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv* [Field and laboratory methods for studying the physical properties and regimes of soils]. Moscow: Lomonosov MSU Publ. house, 2001. 198 p.
19. Order of the Acting Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated April 27, 2017. 185. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on May 18, 2017. No 15128.
20. Purtova L.N. et al. *Vliyaniye fitomelioratsii na pokazateli plodorodiya agrogennykh pochv Primor'ya* [The influence of phytomelioration on the fertility indicators of agrogenic soils of Primorye region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2015. 5. pp. 639.
21. Rostotskij S.B. *Mezhdunarodnyj nauchnyj proekt YUNEP/SSSR «Bor'ba s opustynivaniem putem kompleksnogo razvitiya»* [International scientific project of UNEP/SSSR "Combating desertification through integrated development"]. *Izv. AN SSSR. Ser. geogr.* [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Geographical series]. 1981. 2. pp. 132-139.
22. Salina Yu.B. *Zasolenie kak kriticheskiy faktor plodorodiya zemel' Astrakhanskoj oblasti* [Salinization as a critical factor of the Astrakhan region lands fertility]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agroindustrial complex]. 2018. T. 32. 12. pp. 5-8.
23. Semenyutina A.V. *Ekologo-biologicheskie vozmozhnosti vvedeniya v kul'turu kormovykh kustarnikov i polukustarnikov v usloviyakh yugo-vostoka ETS* [Ecological and biological possibilities of introducing fodder shrubs and semi-shrubs into the culture in the conditions of the South-East of the ET USSR]. *Lesomelioratsiya aridnykh pastbishch: sbornik nauchnykh trudov* [Forest reclamation of arid pastures: a compilation of scientific papers]. Issue 2 (91). Volgograd, 1987. pp.16-24.
24. Solodovnikov A.P. et al. *Sokhraneniye plodorodiya pochvy i povysheniye produktivnosti yachmenya posle fitomelioratsii* [Preservation of soil fertility and increase of barley productivity after phytomelioration]. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal* [Agricultural Scientific Journal]. 2017. 2. pp. 29-34.
25. Suyundukov Ya.T. et al. *Povysheniye ustojchivosti agroekosistem stepnogo Zaural'ya Respubliki Bashkortostan priemami fitomelioratsii* [Improving the steppe Trans-Urals region of the Republic of Bashkortostan agroecosystems sustainability by methods of phytomelioration]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012. T. 14. 1. pp. 244-248.
26. Ten A.G. *Kormoproizvodstvo* [Feed production]. M. «Kolos» Publ. house, 1982. 463 p.
27. Fedotova A.V., Yakovleva L.V. *Pochvennyj pokrov del'ty Volgi kak faktor ekologicheskoy bezopasnosti Prikaspiya* [Soil cover of the Volga delta as a factor of the Near-Caspian region environmental safety]. *Problemy kompleksnoj bezopasnosti Kaspiskogo makroregiona* [Problems of the Caspian macroregion integrated security]. 2021. pp. 126-134.
28. Fedotova A.V., Yakovleva L.V., Sizonenko K.I., Khasanova A.Kh. *Izuchenie vodouderzhivayushchej sposobnosti v pochvosmesyakh raznogo granulometricheskogo sostava* [The study of water retention capacity in different granulometric composition soil mixtures]. *Kaspij i global'nye vyzovy* [Caspian and global challenges]: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Astrakhan, 2022. pp. 171-174.
29. Yas'kov M.I. *Degradatsiya pochv i opustynivaniye sukhostepnoj i stepnoj zony Rossii v usloviyakh potepleniya klimata* [Soil degradation and desertification of the dry-steppe and steppe zones of Russia in the climate warming conditions]. *Altaj-transgranichnyj: prirodnyj, sotsial'no-ekonomicheskij, kul'turnyj i rekreatsionnyj portal Evrazii* [Altai-transborder: natural, socio-economic, cultural and recreational portal of Eurasia]. 2020. pp. 195-200.

Цитирование. Федотова А.В., Яковлева Л.В., Хасанова А.Х., Сизоненко К.И., Спасенков Э.В. Изучение влияния факторов опустынивания на всхожесть семян Пырея удлинённого (*Agropyron elongate*) и Житняка (*Agropyron*) // Научно-аграрно-экономический журнал. 2022. №4(119). С. 30-38. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.005.30-38

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Fedotova A.V., Yakovleva L.V., Khasanova A.Kh., Sizonenko K.I., Spasenkov E.V. Study of the Desertification Factors Effect on Seeds Germination of Tall Wheatgrass (*Agropyron elongate*) and Couch grass (*Agropyron*). *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 30-38. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.005.30-38

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Содержание ряда фенолсодержащих метаболитов в волокне хлопчатника (*G. hirsutum* L.), выращенного в Южном ФО РФ

Сергей Владимирович Григорьев^{✉1,2}, к.с.-х.н., в.н.с., e-mail: ser.grig@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7670-4360;

Ксения Викторовна Илларионова⁴, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-2563-6094;

Татьяна Васильевна Шеленга^{1,3}, к.б.н., в.н.с., ORCID: 0000-0003-3992-5353 –

¹ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР),

²отдел генетических ресурсов масличных и прядильных культур;

³отдел биохимии и молекулярной биологии; ул. Б. Морская 42,44, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский Политехнический университет им. Петра Великого, ул. Политехническая 29, г. Санкт-Петербург, Россия

Функциональные признаки и потребительские свойства текстиля связаны с физико-механическими признаками и с биохимией волокна, в том числе – содержанием биоактивных веществ в нем, которые определяют естественную биофункциональность волокна – гипоаллергенность, гигиеничность, деликатную асептичность, биостойкость к целлюлозолитическим микроорганизмам и др., что является актуальным для сохранения здоровья и активного долголетия населения. Цель работы – изучение содержания биоактивных фенолсодержащих веществ белого и естественно окрашенного волокна у селекционных линий и сортов средневолокнистого хлопчатника, выращенного в Южном ФО РФ. Новизну исследований составляют впервые полученные данные по метаболитам разноокрашенного хлопкового волокна. Анализ веществ проводили с помощью ГЖХ с МС-детектором. Установлено, что зелено-желтое волокно содержало максимальное из изученного количество суммы фенольных веществ ($>5,3$ мг/100 г), светлое желто-коричневое – меньше фенолов ($<0,98$ мг). Зеленовато-желтое волокно обладало максимумами содержания хинной ($>3,80$ мг/100 г), 4-гидроксibenзойной, галловой и протокатехиновой кислот. Желто-коричневые образцы содержали сравнительно много шикимовой кислоты (до 0,05 мг/100 г), катехина (0,47 мг) и максимум α -токоферола – до 0,02 мг. Белое волокно содержало незначительную сумму фенолов ($<0,25$ мг) и минорное α -токоферола. Данные о качественном и количественном составе биоактивных метаболитов волокна во взаимосвязи с его натуральной окрашенностью составляют научную ценность исследований. Исследования имеют практическую значимость, поскольку хлопок – второе после синтетических волокон по объемам использования, критически важное сырье для кластера прядильных и текстильных предприятий РФ, работа которых остро зависит от импорта и конъюнктуры мировых цен. Цветное биофункциональное волокно – продукт с высокой добавленной стоимостью.

Ключевые слова: Фенольные кислоты: хинная, 4-гидроксibenзойная, галловая, протокатехиновая, шикимовая, катехин, α -токоферол, биологическая функциональность волокна.

Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану НИР «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования» №FGEM-2022-0005.

Поступила в редакцию: 10.10.2022

Принята к печати: 05.12.2022

Хлопковое волокно – основное натуральное сырье для текстильной промышленности России, потребность в котором остается стабильно высокой. Помимо льняного волокна, которого в России перерабатывается около 3-4 тыс. т, в страну ежегодно ввозится 30 тыс. т хлопкового волокна и 140 тыс. т хлопковой пряжи. В РФ ведется селекция сортов хлопчатника на продуктивность, качество волокна [1,3], содержание масла [2], белка в семенах [4], устойчивость волокна к биологической деструкции пекто- и целлюлозолитическими микроорганизмами [5]. Оптимизация показателей прочности, длины, тонины и зрелости (микронейра) волокна являлось основной задачей селекции хлопчатника в РФ с середины 2000-х. В настоящее время улучшение потребительских свойств текстиля, его функций является весьма актуальным для реализации основ здорового образа жизни населения и сохранения активного долголетия. Широко применяемая ныне технологическая функци-

онализация текстильных пряж [12,13] может быть достигнута не только импрегнированием активными веществами волокна на этапах его отделки. Биологическая активность, функциональность текстиля возможна за счет использования свойств естественного биохимического состава волокна.

Здоровье кожных покровов – один из важных факторов общего состояния здоровья человека [6]. Анатомическая структура и большая суммарная площадь кожного покрова (около 30 м²) реализуют возможность направленной доставки в организм химических соединений, проникновения микроорганизмов или продуктов их жизнедеятельности несмотря на ряд защитных экзодермальных барьеров [8]. Фармакогнозические исследования показали, что фенолсодержащие соединения (ФСС) обладают выраженной биологической активностью [17]. Растительные фенолы являются эффективными антиоксидантами и защитным механизмом при окислительном стрессе. ФСС перспективны в лече-

нии сердечно-сосудистых, нейродегенеративных, онкологических и воспалительных заболеваний [20]. Галловая кислота обладает антиоксидантными, антикарциногенными, антимутагенными, антимикробными свойствами, защищает от окислительного стресса [7]. Эпигаллокатехин ингибирует раковые процессы у человека [15]. Катехин обладает противогрибковой, противобактериальной активностью [18], показал потенциал в лечении контактного дерматита [14]. Экзогенное применение α -токоферола в условиях стрессовой засухи приводило к защите мембран путем ингибирования перекисного окисления липидов и повышения активности антиоксидантных ферментов [16]. Благодаря антиоксидантным свойствам α -токоферол предотвращает образование опухолей, уменьшая повреждение свободных радикалов биомолекул, таких как ДНК и липиды [10]. Шикимовая кислота играет важную роль в предотвращении клеточного старения у человека при воздействии УФ света [11], активно ингибирует развитие бактериальных клеток в биопленках человека, которые приобретают высокую устойчивость к современным анти-

биотикам, что затрудняет устранение инфекций [21]. Протокатехиновая и 4-гидроксибензойная фенольные кислоты обладают выраженными нейрорепрессорными и противовоспалительными свойствами, что может сделать их подходящими для лечения нейродегенеративных патологий [19]. Оптимизация биологически функциональных, деликатно асептических и иных свойств волокна в пряжах за счет биологически активных свойств его метаболитов представляется весьма актуальной. Цель работы – изучение метаболитного профиля фенолсодержащих соединений белого и естественно окрашенного хлопкового волокна у селекционных линий и сортов хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.), выращенных в Южном ФО РФ.

Материал и методы. Для изучения использованы образцы разноокрашенного хлопкового волокна, которые были разбиты на группы по цвету. Волокно было собрано с растений 21 сорта и линии средневолокнистого хлопчатника вида *Gossypium hirsutum* L. (таблица 1), которые были выращены в юго-восточной части Астраханской области в дельте Волги в 2017–2018 гг.

Таблица 1 – Материал исследований. Образы средневолокнистого хлопчатника (*G.hirsutum* L.) – источники волокна

№ п/п	Образцы		Волокно	
	№ каталогов*	Происхождение	Тип**	Цветовая гамма
1	i113	Узбекистан	VI	Зелено-желтая
2	i214	Узбекистан	VI	Зелено-желтая
3	i315	Узбекистан	VI	Зелено-желтая
4	604987	Россия	VI	Зелено-желтая
5	606968	Россия	V	Зелено-желтая
6	604983	Россия	VI	Зелено-желтая
7	604977	Россия	VI	Зелено-желтая
8	604969	Россия	VI	Зелено-желтая
9	604971	Россия	VI	Зелено-желтая
10	i114	Узбекистан	VI	Желтовато-рыжая
11	i416	Узбекистан	VI	Желтовато-рыжая
12	i517	Узбекистан	V	Желтовато-рыжая
13	i618	Узбекистан	V	Желтовато-рыжая
14	159125	Россия	IV- V	Желтовато-рыжая
15	604982	Россия	V	Желтовато-рыжая
16	i82	Узбекистан	V	Белое
17	i105	Узбекистан	V	Белое
18	i110	Узбекистан	V	Белое
19	604972	Россия	V	Белое
20	0159123	Россия	IV-V	Белое
21	0159124	Россия	IV-V	Белое

Примечание. * Номера интродукционного каталога и признаковой коллекции

** Технологический тип (длина, прочность, метрический номер и проч.)

Климат зоны изучения образцов хлопчатника умеренно-континентальный, засушливый, характерный для физико-географической зоны полупустынь со значимыми колебаниями суточных температур воздуха, небольшим количеством осадков. С мая по октябрь отмечено среднемесячное количество осадков – 22,0 мм, температура – +21,8°C. Средняя температура самого теплого месяца июля +32,1°C. С мая по июль было проведено 8 поливов капельным методом в норме 15 л/м².

Сорта и линии высевались в середине мая на однорядковых делянках с междурядьями 70 см. Образцы хлопка-сырца собирались вручную в середине сентября, после чего пассивно высушивались в течение двух месяцев в сушильном помещении при температуре +20°C и относительной влажности воздуха 16-18%. 40-50 г волокна гомогенизировали, смешивали с соответствующим количеством

метанола в соотношении 1:10 и выдерживали 30 дней при температуре 5-6 °С. Анализ метаболитов проводили на капиллярной колонке HP-5MS с помощью ГЖХ «Agilent 6850» с масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD. Данные обрабатывали с применением STATISTICA 10 for Windows и MS Excel 2010. Достоверные отличия между образцами и группами образцов по изучаемым признакам установлены при 95% уровне значимости с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. Изученные образцы волокна средневолокнистого хлопчатника варьируют незначительно по интенсивности белого цвета, зеленые и коричневые – весьма разнообразны по насыщенности и цветовой гамме. Наибольшее среднее содержание общей суммы ФСС было обнаружено в группе волокон зеленой гаммы – более 2,0 мг/100 сухого вещества (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание фенолсодержащих соединений (ФСС) в волокне хлопчатника *G. hirsutum* L., мг/100 г сухого вещества, средние 2017-2018 гг.

Фенолсодержащие соединения (ФСС)	Цвет волокна, группы окраски и насыщенности									
	Зелено-желтая гамма				Желтовато-рыжая гамма			Белое		
	1*	2	3	X**	1	2	X	2	3	X
Сумма ФСС	<u>5,32</u>	0,25	0,57	2,04	0,20	<u>0,98</u>	0,85	0,18	0,25	0,22
В том числе:										
катехин	0,19	0,00	0,01	0,07	0,00	<u>0,47</u>	0,40	0,00	0,01	0,005
эпигаллокатехин	<u>0,47</u>	0,00	0,01	0,16	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,005
α-токоферол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<u>0,02</u>	0,01	0,00	0,01	0,005
ФС кислоты***:										
4-гидроксibenзойная	<u>0,44</u>	0,02	0,02	0,16	0,01	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02
шикимовая	<u>0,04</u>	0,01	0,02	0,02	<u>0,04</u>	<u>0,05</u>	0,05	0,02	0,01	0,02
протокатеховая	<u>0,06</u>	0,00	0,02	0,03	0,00	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02
хинная	<u>3,83</u>	0,16	0,24	1,41	0,09	0,26	0,23	0,09	0,13	0,07
галловая	<u>0,28</u>	0,05	<u>0,25</u>	0,19	0,04	0,07	0,06	0,02	0,05	0,04

Примечания. *Средняя насыщенность цвета волокна сгруппированных образцов волокна: 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – насыщенная; **X – средние значения групп; ***фенолсодержащие кислоты. Подчеркивание – значимо при p=0,05.

Среди изученных образцов светлое зелено-желтое волокно содержало наибольшее количество ФСС – более 5,3 мг/100 г, желто-рыжие волокна (средне-насыщенные оттенки желто-коричневого цвета) содержали значимо меньше фенолов – 0,98-0,20 мг/100., белые – менее 0,25. Зеленовато-желтое волокно слабой насыщенности цвета содержит наибольшие количества хинной кислоты (более 3,80 мг/100 г), 4-гидроксibenзойной, галловой, и протокатехиновой кислот, но имеет минимальное количество катехина (0,19 мг/100 г) и практически не содержит α-токоферола. В свою очередь изученные образцы волокна желтовато рыжей гаммы (оттенки желто-коричневого) содержат сравнительно много шикимовой кислоты (до 0,05 мг/100 г), катехина (0,47 мг/100 г) и максимальное количество из изученных образцов α-токоферола

– до 0,02 мг/100 г. Белое хлопковое волокно содержит незначительную сумму ФСС (до 0,25 мг/100 г), сравнимую с некоторыми образцами окрашенного волокна зеленой и коричневой гаммы по отдельным компонентам – хинной, галловой кислотам и следовым количествам α-токоферола.

Заключение. Изученные образцы разноокрашенного волокна средневолокнистого хлопчатника, выращенные в Южном ФО России, обладают не только различающимися технологическими параметрами волокна (длина, прочность и др.), но и содержанием биологически активных фенолсодержащих веществ. Зелено-желтое волокно содержало наибольшее количество веществ фенольной группы – до 5,32 мг/100 г, образцы желто-коричневых оттенков показали меньшее их количество – не более 0,98 мг/100. Хлопчатник с белым волоком

ном содержит следовые количества α -токоферола и сравнительно мало фенолов. Изменчивость содержания метаболитов предполагает возможность оптимизации содержания того или иного вещества методами селекции. Гибридизация и отбор могут быть направлены не только на улучшение длины, прочности и других признаков волокна, но и на содержание биологически активных веществ в нем. Сорты хлопчатника с натурально окрашенным волокном могут уступать распространенным ныне беловолокнистым по урожайности и физико-механическим параметрам волокна. Однако в современных условиях инновационное качество получаемой продукции – цветное биоактивное волокно как продукт с высокой добавленной стоимостью имеет больший приоритет перед валовым сбором ординарного волокна. Очевиден потенциал для производства экстраординарных, биологически функциональных пряж. Фенолсодержащие соединения окрашенного волокна могут обусловить биологическую функциональность текстильных изделий.

Литература:

1. Григорьев С.В., Илларионова К.В. Конвергентный отбор по физико-механическим признакам качества волокна у хлопчатника и конопли / Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2009). ГОУ ВПО «Ивановская государственная текстильная академия», ИХР РАН, НИИ «Наноматериалы», Концерн «Наноиндустрия». 2009. С. 47–49.
2. Григорьев С.В., Илларионова К.В., Абдуллаев К.М., Кантемирова Е.Н., Мирошниченко Е.В., Шеленга Т.И., Хорева В.И. Масличность семян хлопчатника в Южном и Северокавказском федеральных округах России // Аграрная Россия. 2020. № 1. С. 3–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-1-3-7
3. Григорьев С.В., Печеров А.А., Ажмухамедова М.А., Маслова Н.А., Сергеев К.В. Урожайность и качество волокна хлопчатника в России // Доклады РАСХН. 2006. № 4. С. 24–26.
4. Григорьев С.В., Хорева В.И., Илларионова К.В. Содержание белка в семенах хлопчатника в Южном и Северокавказском ФО России // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 81. С. 91–96.
5. Илларионова К.В., Григорьев С.В. Биодеструкция отечественного хлопка как аспект биобезопасности хлопчатобумажной продукции в РФ // Международный научный журнал. 2016. № 6. С. 54–58.
6. Bocheva G., Slominski R. M., Janjetovic Z., Kim T. K., Böhm M., Steinbrink K., Reiter R. J., Kleszczyński K., Slominski A. T. Protective role of melatonin and its metabolites in skin aging. International journal of molecular sciences. 2022. 23(3). 1238. DOI: 10.3390/ijms23031238.
7. Choubey S., Goyal S., Varughese L. R., Kumar V., Sharma A. K., Beniwal V. Probing gallic acid for its broad spectrum applications. Mini reviews in medicinal chemistry. 2018. 18(15), 1283–1293. DOI: 10.2174/1389557518666180330114010
8. Gallo R.L. Human skin is the largest epithelial surface for interaction with microbes. The Journal of investigative dermatology. 2017. 137(6). 1213–1214. DOI: 10.1016/j.jid.2016.11.045
9. Grams Y.Y., Bouwstra J.A. Penetration and distribution of three lipophilic probes in vitro in human skin focusing on the hair follicle. Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society. 2002. 83(2). 253–262. DOI: 10.1016/s0168-3659(02)00205-5
10. Hall K.T., Buring J.E., Mukamal K.J., Vinayaga Moorthy M., Wayne P.M., Kaptchuk T.J., Battinelli E.M., Ridker P.M., Sesso H.D., Weinstein S.J., Albanes D., Cook N.R., Chasman D.I. COMT and alpha-tocopherol effects in cancer prevention: gene-supplement interactions in two randomized clinical trials. Journal of the National Cancer Institute. 2019. 111(7). 684–694. DOI: 10.1093/jnci/djy204
11. Martínez-Gutiérrez A., Fernández-Duran I., Marazuela-Duque A., Simonet N. G., Yousef I., Martínez-Rovira I., Martínez-Hoyos J., Vaquero A. Shikimic acid protects skin cells from UV-induced senescence through activation of the NAD⁺-dependent deacetylase SIRT1. Aging. 2021. 13(9). 12308–12333. DOI: 10.18632/aging.203010
12. Massella D., Leone F., Peila R., Barresi A. A. Ferri, A. Functionalization of cotton fabrics with polycaprolactone nanoparticles for transdermal release of melatonin. Journal of functional biomaterials. 2017. 9(1). DOI: 10.3390/jfb9010001.
13. Morganti P., Morganti G., Colao C. Biofunctional textiles for aging skin. Biomedicines. 2019. 7(3). 51. DOI: 10.3390/biomedicines7030051
14. Nakano E., Kamei D., Murase R., Taki I., Karasawa K., Fukuhara K., Iwai S. Anti-inflammatory effects of new catechin derivatives in a hapten-induced mouse contact dermatitis model. European journal of pharmacology. 2019. 845. 40–47. DOI: 10.1016/j.ejphar.2018.12.036
15. Selvakumar P., Badgeley A., Murphy P., Anwar H., Sharma U. Lawrence K., Lakshmikuttyamma A. Flavonoids and other polyphenols act as epigenetic modifiers in breast cancer. Nutrients. 2020. 12(3).761. DOI: 10.3390/nu12030761
16. Shah W., Ullah S., Ali S., Idrees M., Khan M.N., Ali K., Khan A., Ali M., Younas F. Effect of exogenous alpha-tocopherol on physio-biochemical attributes and agronomic performance of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under drought stress. PloS one. 2021. 16(8). e0248200. DOI: 10.1371/journal.pone.0248200
17. Shi Y., Shu H., Wang X., Zhao H., Lu C., Lu A., He X. Potential advantages of bioactive compounds extracted from traditional Chinese medicine to inhibit bone destructions in rheumatoid arthritis. Frontiers in pharmacology. 2020. 11. 561962. DOI: 10.3389/fphar.2020.561962
18. Veluri R., Weir T.L., Bais H.P., Stermitz F.R., Vivanco J.M. Phytotoxic and antimicrobial activities of catechin derivatives. Journal of agricultural and food chemistry. 2004. 52(5). 1077–1082. DOI: 10.1021/jf030653
19. Winter A.N., Brenner M.C., Punessen N., Snodgrass M., Byars C., Arora Y., Linseman D.A. Comparison of the neuroprotective and anti-inflammatory effects of the anthocyanin metabolites, protocatechuic acid and 4-hydroxybenzoic acid. Oxidative medicine and cellular longevity. 2017. 6297080. DOI: 10.1155/2017/6297080
20. Zenkov N.K., Chechushkov A.V., Kozhin P.M., Kandalintseva N.V., Martinovich G.G., Menshchikova E.B. Plant phenols and autophagy. Biochemistry (Mosc). 2016. 81(4). 297–314. DOI: 10.1134/S0006297916040015
21. Zhang Z., Yang Y., Sun Q., Zeng W., Li, Y. Inhibition of biofilm formation and virulence factors of cariogenic oral pathogen *Streptococcus mutans* by shikimic acid. Microbiology spectrum. 2022. 10(4), e0119922. DOI: 10.1128/spectrum.01199-22

The Content of a Number of Phenol-Containing Metabolites in Cotton Fiber (*G. Hirsutum* L.) Grown in the Southern Federal District of the Russian Federation

Sergey V. Grigoriev ^{✉1,2}, Ph.D. (Agricultural Sciences), Leading Researcher, e-mail: ser.grig@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7670-4360 ¹N.I. Vavilov (VIR), St. Petersburg, st. B.Morskaya 42.44,

²Department of Genetic Resources of Oilseeds and Spinning Crops

Ksenia V. Illarionova ⁴, Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-2563-6094 –

⁴Peter the Great Polytechnic University, St. Petersburg, st. Polytechnicheskaya 29

Tatyana V. Shelenga ^{1,3}, ORCID: 0000-0003-3992-5353, Ph.D. (Biological Sciences), Leading Researcher,

³Department of Biochemistry and Molecular Biology

Abstract. Cotton is the second most used raw material for the cluster of spinning and textile enterprises of the Russian Federation, after synthetic and artificial fibers, in terms of volume of use, the work of which is highly dependent on the conditions of imports and price fluctuations in the world market. Functional characteristics and consumer properties of textiles are associated with physical and mechanical characteristics and with a number of biochemical parameters of the fiber, including the content of biologically active substances in it, which determine the natural biofunctionality of the fiber - hypoallergenicity, hygiene, delicate asepis, bioresistance to pecto- and cellulase-lytic microorganisms, which is very important for the health and preservation of active longevity of the population. The aim of the work is to study the content of bioactive phenol-containing substances in white and naturally colored fiber in breeding lines and varieties of medium-staple cotton grown in the Southern Federal District of the Russian Federation. Metabolite analysis was performed on a capillary column using GLC with a mass selective detector. Studies have shown that green-yellow fiber contained the maximum amount of total phenolic substances (>5.3 mg/100 g), light yellow-brown fiber contained relatively less phenols (<0.98 mg). The greenish-yellow fiber had peaks in the content of quinic (>3.80 mg/100 g), 4-hydroxybenzoic, gallic and protocatechinic acids. Samples of yellow-brown color contained a relatively large amount of shikimic acid (up to 0.05 mg/100 g), catechin (0.47 mg) and the maximum of the studied α -tocopherol - up to 0.02 mg. The white fiber also contained a small amount of phenols (<0.25 mg), comparable to some samples of naturally colored fiber in terms of a number of phenol-containing metabolites and a minor amount of α -tocopherol.

Keywords: quinic, 4-hydroxybenzoic, gallic, protocatechin, shikimic acids, catechin, α -tocopherol, biofunctional fiber

Received: 10.10.2022

Accepted: 05.12.2022

Translation of Russian References:

1. Grigoriev S.V., Illarionova K.V. *Konvergentnyj otbor po fiziko-mekhanicheskim priznakam kachestva volokna u hlochatnika i konopli* [Convergent selection on physical and mechanical characteristics of fiber quality in cotton and hemp. Physics of fibrous materials: structure, properties, knowledge-intensive technologies and materials (SMARTEX-2009). Federal Agency for Education, SEI HPE "Ivanovo State Textile Academy," Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Research Institute "Nanomaterials", Concern "Nanoindustry"]. 2009. P. 47-49.

2. Grigoriev S.V., Illarionova K.V., Abdullaev K.M., Kantemirova E.N., Miroshnichenko E.V., Shelenga T.I., Horeva V.I. *Maslichnost' semyan hlochatnika v Yuzhnom i Severokavkazskom federal'nyh okrugah Rossii* [Oil content of cotton seed in Southern and North Caucasus FD]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia]. 2020. 1. Pp. 3-7. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-1-3-7.

3. Grigoriev S.V., Pecherov A.A., Azhmuhamedova M.A., Maslova N.A., Sergeev K.V. *Urozhajnost' i kachestvo volokna hlochatnika v Rossii* [Yield and quality of cotton fiber in Russia]. *Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. 2006. 4. Pp. 24-26.

4. Grigor'ev S.V., Horeva V.I., Illarionova K.V. *Soderzhanie belka v semenah hlochatnika v Yuzhnom i Severo-Kavkazskom FO Rossii* [Protein content in cotton seeds in the Southern and North Caucasus Federal District of Russia]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]. 2019. 81. Pp. 91-96.

5. Illarionova K.V., Grigoriev S.V. *Biodestrukciya otechestvennogo hlopka kak aspekt biobezopasnosti hlochatobumazhnoj produkcii v RF* [Biodegradation of domestic cotton as an aspect of the biosafety of cotton products in the Russian Federation]. *International Scientific Journal*. 2016. 6. Pp. 54-58.

Цитирование. Григорьев С.В., Илларионова К.В., Шеленга Т.В. Содержание ряда фенолсодержащих метаболитов в волокне хлопчатника (*G. hirsutum* L.), выращенного в Южном ФО РФ // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 39-43. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.006.39-43

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Grigoriev S.V., Illarionova K.V., Shelenga T.V. The Content of a Number of Phenol-Containing Metabolites in Cotton Fiber (*G. Hirsutum* L.) Grown in the Southern Federal District of the Russian Federation. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 39-43. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.006.39-43

Author's contribution. The authors of this research paper were directly involved in the planning, execution and analysis of this study, reviewed and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Эколого-биологические аспекты формирования пастбищезащитных насаждений вяза в фитомелиорации Западного Прикаспия

Гасан Абдулкадирович Сурхаев , к.с.-х.н., в.н.с, e-mail: gasan2255@mail.ru, ORCID 0000-0002-6579-0918; Гульнара Магомедовна Сурхаева, н.с., ORCID 0000-0003-4440-6371 –

Северо-Кавказский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (СКФ ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: achikyulak356890@mail, 356890, Ачикулак, ул. Пролетарская, 10, Ставропольский край, Россия

В статье представлены результаты эколого-лесоводственной оценки роста и развития разновозрастных, разнотипных защитных лесных насаждений на неоднородных экотопах песков Бажиганского массива в Терско-Кумском междуречье Западного Прикаспия. Их формирование на деградированных пастбищных угодьях в 60-80 годы прошлого века вызвано необходимостью ветрозащиты и улучшения продуктивности кормовых фитоценозов. Актуальность работы обоснована необходимостью изучения современного состояния ЗЛН вяза приземистого в многолетнем опыте защитного лесоразведения на песчаных почвах. Объектами исследований стали защитные лесные насаждения научно-экспериментального полигона Ачикулакской научно-исследовательской лесной опытной станции ВНИАЛМИ (ныне СКФ ФНЦ агроэкологии РАН). Цель работы – изучение особенностей роста культуры в высоту и по диаметру в онтогенезе развития модальных древостоев в неоднородных почвенно-грунтовых условиях на трех экотопах песков, разнящихся между собой по степени плодородия почвы, глубине и минерализации ГВ. Комплексные исследования ЗЛН по пробным площадям проводились с использованием типовых методических разработок и авторской шкалы оценки продуктивности лесорастительных условий. Впервые оценена коррелятивная связь динамического развития защитных древостоев с эдафическими условиями лесоразведения хозяйственно-ценной мелиоративной культуры на пастбищных землях. Итоговые данные исследований дают возможность классифицировать лесомелиоративный фонд песчаных почв по продуктивному потенциалу экотопов лесовыращивания в целях эффективного фитомелиоративного освоения деградированных пастбищных земель аридного региона.

Ключевые слова: пастбищезащитные насаждения, таксация деревьев, рост древостоев, экотоп песков, фитомелиорация пастбищ, культура вяза.

Работа выполнена в рамках государственного задания РАН № 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».

Поступила в редакцию: 18.10.2022

Принята к печати: 30.11.2022

Терско-Кумские пески, где проводилась работа, – это зона традиционного пастбищного животноводства (овцеводства) на обширной части (около 1 млн. га) аридной территории Западного Прикаспия [10]. Здесь эффективность доминирующей отрасли во многом зависит от режима нагрузки поголовья и степени внедрения фитомелиоративных мероприятий на пастбищных угодьях. В них ключевое место отводится формированию системы лесных насаждений в целях противодефляционной защиты и улучшения кормовых фитоценозов песчаных земель [7].

На Бажиганском массиве песков накоплен значительный, более чем вековой, опыт реставрации фитопродуктивного состояния природных кормовых угодий с участием многих древесных культур, среди которых и вяз приземистый в числе ведущих культур-мелиорантов пастбищных земель региона. В историческом прошлом создание ЗЛН не всегда сопровождалось должным учетом лесорастительных условий песков, из-за чего случались и неудачи в многолетнем опыте фитомелиоратив-

ных работ [4].

Цель исследования продиктована актуальностью изучения влияния эдафических условий почвы на рост, производительность и долголетие вязовых ЗЛН в многолетнем опыте лесомелиорации пастбищных угодий на песках Терско-Кумского междуречья в Западном Прикаспии.

Полученные результаты НИР имеют прикладное значение в целях совершенствования фитомелиоративной модели реставрации опустыненных пастбищных угодий аридного региона.

Материалы и методы. Объектами исследований стали разновозрастные и разнотипные защитные древостои вяза приземистого, занимающие лесомелиорированные экосистемы песков Терско-Кумского междуречья в Западном Прикаспии (рис.1). Они созданы Ачикулакской НИЛОС в 60-80 годы прошлого века [8] в западной части Бажиганского массива (географические координаты: 44° 27'31" С.Ш. и 44°59'05" В.Д.) на участках с ровным рельефом мелкозернистых, слоистых песков, характеризующихся мозаичной структурой эдафических условий

по гумусности почв, глубине залегания и степени минерализации грунтовых вод, которые в комплек-

се определяют биопродуктивный потенциал экотопов выращивания защитных древостоев вяза.

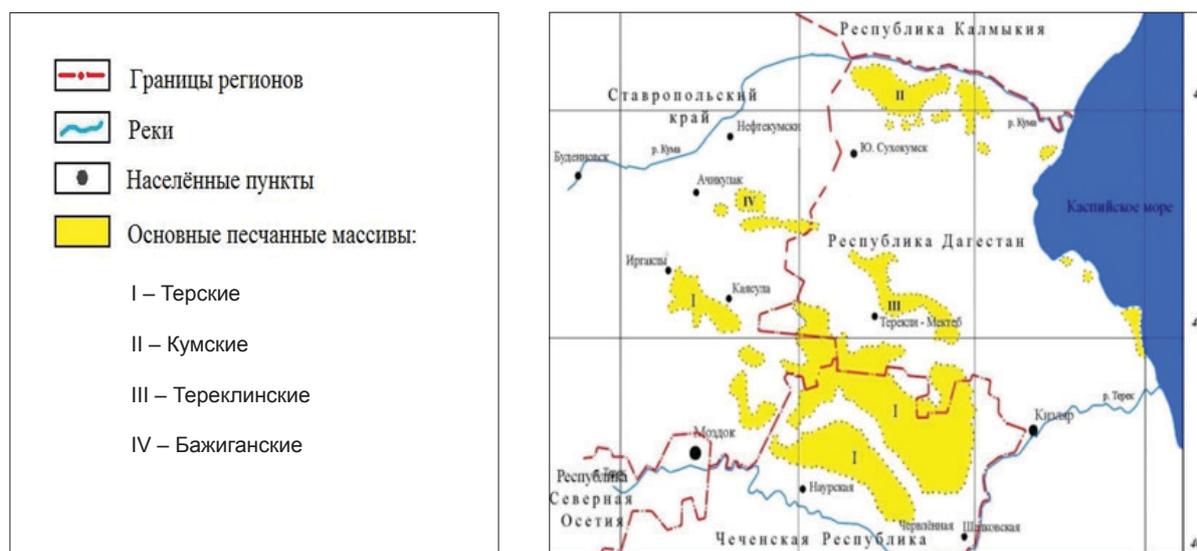


Рисунок 1. Схематическая карта массивов песков Терско-Кумского междуречья в Западной Прикаспии

Работа выполнена на пробных (учетных) площадях модалных насаждений вяза приземистого, где отобраны модельные стволы деревьев, по которым проведен анализ динамики их развития в многолетнем онтогенезе с использованием общепринятых методических разработок для лесоводственной и таксационной оценки исследуемых древостоев [3,6], а также авторской шкалы лесопродуктивности экотопов песков по параметрам эдафических условий:

Э 1 – продуктивный экотоп (гумус 0.5-1.0 %, УГВ 3.0-6.0 м, МГВ до 5.0 г/л);

Э 2 – средне продуктивный экотоп (гумус 0.1-0.5%, УГВ 6.1-9.0 м, МГВ 5.1-10.0 г/л);

Э 3 – низкопродуктивный экотоп (гумус до 0.1%, УГВ 9.1-12м, МГВ 10.1-15 г/л).

Результаты и обсуждение. В Российской Прикаспии, в т. ч. в западной части обширного региона, опыт защитного лесоразведения имеет более чем вековую историю лесомелиорации песчаных земель по стабилизации экологического, экономического и социального развития аридных территорий [5,11,12]. Здесь, наряду с другими интродуцентами, культура вяза натурализована в ходе пескоукрепительных работ в период 1912-1917 гг. Однако приживаемость ее на сыпучих песках междуречья оказалась ниже по сравнению с тополем, робинией, ивой и другими древесными мелиорантами [1].

И лишь позже в советское время (50-80 годы прошлого века) в лесомелиорации региона наступает успешный период участия вяза в формировании на песках разнотипных по назначению лесонасаждений (полезащитные, пастбищезащитные, куртинные и др.), различающихся еще и конструктивно (узкополосные, широкополосные и массивные ЗЛН). Из общей площади (свыше 600 га), созданных ЗЛН вяза, более 50% насаждений (360

га) сосредоточено на Бажиганском массиве песков, в т.ч. на землях Ачикулакской НИЛОС (почти 250 гектаров), а меньшей частью они локализуются на Тереклинских (около 110 га) и Терских (140 га) песках междуречья.

В связи с тем, что защитные древостои подошли к критическому порогу биологического развития, в аридных условиях малогумусных песчаных почв Западной Прикаспии актуализировалась проблема изучения адаптивного и лесомелиоративного потенциала культуры вяза в неоднородных экотопах фитомелиоративного освоения опустыненных пастбищных экосистем региона.

По данным натурных исследований составлена многофакторная эколого-лесоводственная оценка экотопов лесовыращивания пастбищезащитных насаждений вяза на песках.

Продуктивный экотоп песков (Э-1) характеризуется относительно высоким уровнем гумуса (1.2%) и доступными для деревьев грунтовыми водами (ГВ), имеющими глубину залегания 4.6 м и степень минерализации 5.4 г/л. В данных условиях экотопа находится самый возрастной (57 лет) объект изучения ЗЛН, заложенный в 1964 году механизированной посадкой семян культуры на участке ползаросших песков. По конструкции насаждение широкополосное (8 рядов), где внутренние 4 ряда занимает робиния псевдоакация, а крайние (с двух сторон, по 2 ряда) – вяз приземистый, с высокой проектной плотностью посадочных мест – 4000 шт./га (2.5 × 1.0 м).

В смешанном древостое до полного смыкания крон лучшую динамику роста имели деревья робинии, а после, вследствие опережающих темпов прироста вяза, псевдоакация оказалась во втором, подавленном ярусе ЗЛН. И поэтому сейчас по показателям сохранности (25.1%) и лесоводственного состояния она пребывает в стадии сильного

угнетения.

Средне-продуктивный экотоп песков (Э-2). В нем пастбищезащитное насаждение сформировано на многофазных, средне-гумусированных (0.3-0.4%) песках, где относительно доступные по глубине (6.1 м) и минерализации (7.3 г/л) грунтовые воды существенно дополняют атмосферную часть водного баланса защитного древостоя. Насаждение узкополосное (4 ряда), заложено весной 1983 года механизированной посадкой двухлетних сеянцев вяза по проектной схеме – 4.0×1.0 м (2500 шт./га). И по данным осенней инвентаризации в год создания отмечена довольно высокая (82%) приживаемость культуры, но сейчас, спустя 43 года, сохранность древостоя снизилась до 37.2% с общим числом деревьев 843 шт./га, из которых 73 ствола (8.7%) классифицируются уже усохшими. Под просветами полога древостоя весной на перегнойном слое (5-6 см) листового и веточного опада деревьев наблюдается редкая эфемерная растительность.

Низкопродуктивный экотоп песков (Э-3). Созданное здесь ЗЛН по конструкции широкополосное (13 рядов), с проектным числом посадочных мест – 3300 шт./га, но сейчас на гектаре осталось

всего 471 дерево, из которых усохшие – 117 стволов (24.8%). Древостой относительно невысокий (7.4 м), изреженный, и в преобладающей части (52.2%) характеризуется сильно угнетенным состоянием из-за низкой гумусированности песков (0.1%) и низкой доступности глубоко залегающих (9.3 м) и сильно засоленных (10.2 г/л) грунтовых вод в данных эдафических условиях. В насаждении в небольшом количестве (около 12 шт./га) примешан низкорослый, угнетенный самосев деревьев ясеня зеленого и обыкновенного. Под насаждением из многолетнего листо-веточного опада образовался рыхлый (3-4 см) перегнойный слой, на котором небольшими островками под просветами выпавших деревьев весной появляется редкая эфемерная и эфемероидная растительность с коротким сезонным циклом вегетации до наступления летнего периода. Насаждение заложено механизированным способом (ДТ-75+СЛЧ -1) в 1976 году сеянцами вяза приземистого из интродукционного питомника Ачикулакской НИЛОС.

Сводная лесоводственная оценка состояния исследуемых объектов пастбищезащитных лесных насаждений (ПЗЛН) в разных экотопах их создания приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Лесоводственная оценка ПЗЛН вяза приземистого

Экотоп	Год создания	Тип ЗЛН	Сохранность		Полнота	Бонитет	Балл состояния
			%	шт.дер./га			
Э-1	1964	Широкополосный	25.1	671	0.5	3	2.8
Э-2	1983	Узкополосный	37.2	843	0.6	3	1.9
Э-3	1978	Широкополосный	23.5	607	0.4	4	2.9

В защитных лесных насаждениях на неоднородных экотопах песков (Э-1, Э-2, Э-3) эдафические факторы (гумусность, глубина и минерализация ГВ) в онтогенезе вяза существенно не отражаются на ход фенологического развития древесных

растений, но активно отражаются на показателях лесоводственно-таксационного потенциала роста стволов в высоту и по диаметру, и возрастной оценке лесомелиоративного состояния защитных древостоев (таблица 2).

Таблица 2 – Лесотаксационная характеристика защитных древостоев вяза на разных экотопах песков

Экотоп	Площадь, га	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Запас, м ³ /га	Эдафические показатели		
						гумус, %	УГВ, м	МГВ, г/л
Э-1	1.9	57.0	14.7	42.3	132.0	0.9	4.6	5.4
Э-2	2.3	38.0	12.3	23.5	87.0	0.4	6.1	7.3
Э-3	1.7	43	7.4	15.3	43.0	0.1	9.3	10.2

Анализ роста вяза приземистого по возрастным периодам на разных экотопах создания его древостоев показывает, что на ювенильной стадии развития (до 5 лет) динамика роста древесных растений не имеет существенных

различий в связи с тем, что в это время в их водном балансе присутствуют лишь атмосферные осадки. Однако с возрастом и увеличением водопотребления за счет грунтовых вод происходит

постепенная дифференциация роста ствольной части деревьев на разных экотопах влагодоступности защитных насаждений вяза приземистого (таблица 3). Полученные данные позволили оценить структуру жизненного состояния деревьев в пастбищезащитных насаждениях по бальной оценке их лесоводственного состояния в неоднородных почвенно-гидрологических условиях создания (таблица 4).

Таблица 3 – Оценка вяза приземистого по возрастным периодам роста на различных экотопах пастбищезащитных насаждений

Экотоп песков	Период роста, лет	Прирост ствола				Габитус ствола	
		текущий, Z		средний, N			
		h, см	d, см	h, см	d, см	h, м	d, см
Э-1	1-10	52	1.4	52	14.1	5.2	14.1
	11-20	39	1.3	46	13.6	9.1	27.2
	21-30	32	0.80	41	11.7	12.3	35.3
	31-40	17	0.40	35	9.8	14.0	39.3
	41-50	7	0.30	29	8.5	14.7	42.3
	51-60	0	0				42.3
Э-2	1-10	49	0.83	49	8.3	4.9	8.3
	11-20	42	0.71	46	7.7	9.1	15.4
	21-30	21	0.34	37	6.6	11.2	19.8
	31-40	11	0.18	28	5.9	12.3	23.5
Э-3	1-10	29	0.62	29	6.2	2.9	6.2
	11-20	24	0.51	26	5.6	5.3	11.3
	21-30	14	0.23	22	4.5	6.8	13.6
	31-40	6	0.17	19	4.0	7.4	15.3
	41-50	0	0			7.4	15.3

Таблица 4 – Оценка жизнеспособности деревьев на экотопах разновозрастных пастбищезащитных древостоев вяза приземистого

Экотоп	Возраст, лет	Кол-во деревьев шт/га	Структура состояния древостоя, шт. дер. /га					Средний Балл
			1	2	3	4	5	
Э-1	57	671	166	106	194	109	96	2.8
Э-2	43	843	524	69	126	51	73	1.9
Э-3	38	607	136	108	167	79	117	2.9

1 – здоровые; 2 – ослабленные; 3 – угнетенные; 4 – сухoverшинные; 5 – усохшие

Возрастную динамику биологической трансформации вяза на разных экотопах песков наглядно иллюстрирует графическая оценка корреляции

роста в высоту и по диаметру его модельных деревьев в разных эдафических условиях песчаных почв изучаемых объектов ЗЛН (рис. 2).

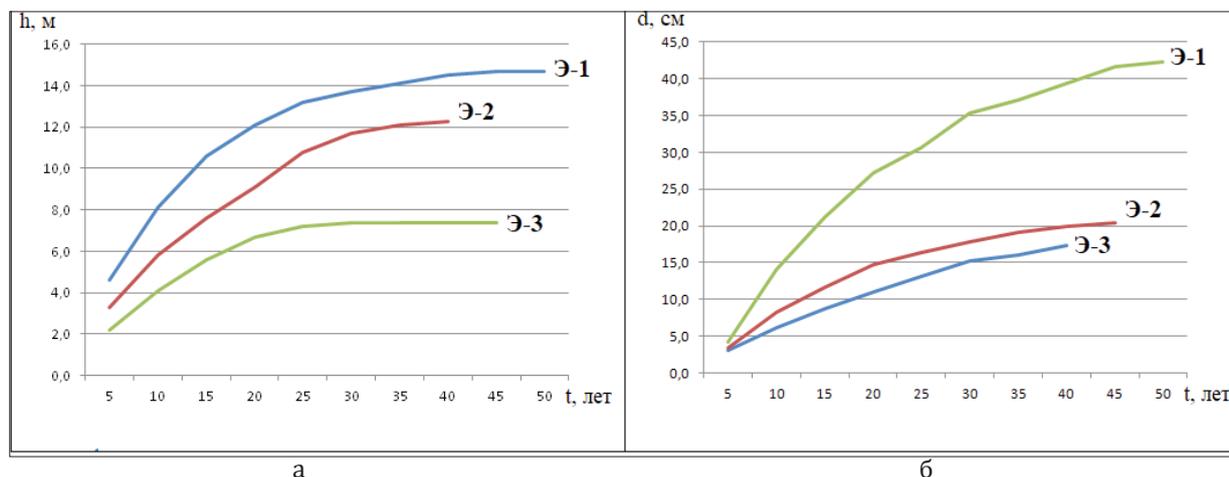


Рисунок 2. Ход роста в высоту (а) и по диаметру (б) вяза приземистого на различных экотопах песков

Выводы. Результаты исследований представляют собой первую научную оценку эколого-мелиоративного состояния разновозрастных защитных насаждений вяза приземистого в многолетнем опыте фитомелиорации пастбищных экосистем Терско-Кумской полупустыни Западного Прикаспия (фото). Они позволили оценить биоэкологический потенциал выращивания вязовых пастбищезащитных древостоев на неоднородных экотопах песчаных почв Бажиганского массива по основным эдафическим факторам (гумусность, глубина и минерализация ГВ). Данные исследований позволили установить степень коррелятивной связи лесоводственно-таксационных показателей (высота, диаметр, запас) защитных насаждений в несхожих почвенно-грунтовых условиях роста и развития и оценить потенциал долголетия многофункциональных ЗЛН в пастбищной реабилитации деградированных кормовых угодий аридного региона.

Литература:

1. Глезденев В.Л. Очерк работ по укреплению сыпучих песков в Ачикулакском приставстве Ставропольской губернии / Сборник-ежегодник лесного департамента. С-Пб. 1913. 39 с.
2. Захаров А.Ю., Чибисов Г.А. Классификация деревьев при рубках ухода // Лесной вестник. 2013. №3. С 76- 80
3. Лесоустроительная инструкция. – М.: Рослесхоз, 2012. 54 с.
4. Манаенков А.С. Лесомелиорация арен засушливой зоны / 2 издание переработанное и дополненное. Волго-

град: ВНИАЛМИ. 2018. 428с.

5. Манаенков А.С., Кулик А.К. Закрепление и облесение песков засушливой зоны Волгоград. 2016. 55с.
6. Никифорчин И.В., Ветров Л.С., Вавилов С.В. Таксация леса. Учебное пособие. – СПб.: СПб ГПУ, 2011. 242 с.
7. Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г., Кулик К.Н. Опыт лесомелиорации экосистем песков Терско-Кумского междуречья // Экосистемы: Экология и динамика. 2019. № 4. С 1-17.
8. Сурхаев И.Г., Сурхаев Г.А. Особенности формирования вегетативных древостоев *robinia pseudoacacia* на Терско-Кумских песках // Лесной вестник. 2018. №6. С.23-30.
9. Усманов Р.З., Джалалова М.И., Бабаева М.А. Использование методов фитомелиорации на деградированных пастбищах Терско-Кумских песков // Юг России: экология, развитие. 2008. №3. С109-111.
10. Усманов Р.З., Баломирзоев М.А., Котенко М.Е. Проблемы борьбы с деградацией и опустыниванием Кизлярских пастбищ в связи с аридизацией климата и антропогенных воздействий на природные экосистемы. Юг России: экология, развитие. 2010. №3. С. 117-122.
11. Sapanov M.K. Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region. Arid Ecosystems. 2018. Vol. 8. No 1. Pp. 13-21. doi: 10.1134/S2079096118010092 7.
12. Lepesko V.V., Belyaev A.I., Pleskachev Yu.N., Pugacheva A.M., Rybashlykova L.P., Fomin S.D. Monitoring the state and ecological ameliorative effect of tree and shrub coulisse and row plantings on pastures in the arid conditions of the northern Caspian. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. doi:10.1088/1755-1315/341/1/012103.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.007.44-49

Ecological and Biological Aspects of the Pasture-Protective Elm Plantations Formation in the Phytomelioration of the Western Near-Caspian Region

Hasan A. Surkhaev✉, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher,
e-mail: gasan2255@mail.ru, ORCID 0000-0002-6579-0918;

Gulnara M. Surkhaeva, Associate Research, ORCID 0000-0003-4440-6371 –
North Caucasus Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”
(NCB of FSC of agroecology RAS), e-mail: achikylak356890@mail.ru,
356890, Achikulak vill., 10 Proletarskaya str., Stavropol Region, Russia

Abstract. The article presents the results of ecological and forestry assessment of the different-aged, different-type protective forest plantations growth and development on heterogeneous ecotopes of the Bazhigan massif sands in the Terek-Kuma interfluvium, Western Near-Caspian region. Their formation on degraded pasture lands in the 60-80 years of the last century was caused by the need for wind protection and improving the productivity of forage phytocenoses. The relevance of the work is justified by the need to study the current state of the low-lying elm protective forest plantations (PFP) in the long-term experience of protective afforestation on sandy soils. The objects of research were protective forest plantations on the scientific and experimental landfill of the Achikulak Research Forest Experimental

Station of VNIALMI (now the NCB of the FSC of agroecology RAS). The aim of the work is to study the features of plantations growth in height and diameter in the modal forest stands development ontogenesis in heterogeneous soil conditions on three sand ecotopes, differing in the degree of soil fertility, depth and mineralization of groundwater (GW). Comprehensive studies of the PFP on trial areas were carried out using standard methodological developments and the author's scale for assessing the productivity of forest growing conditions. For the first time, the correlative relationship of the protective stands dynamic development with the edaphic conditions of economically valuable meliorative culture afforestation on pasture lands was evaluated. The final research data make it possible to classify the forest

reclamation fund of sandy soils by the productive potential of ecotopes of forest cultivation in order to effectively phytomeliorative development of degraded pasture lands in the arid region.

Keywords: pasture-protective plantings, tree taxation, growth of forest stands, sands ecotope, phytomelioration of pastures, elm culture

The work was carried out within the framework of the state task of the Russian Academy of Sciences No. 0713-2020-0002, "Develop scientific foundations, new methods, models and technologies for effective forest reclamation development and multipurpose use of low-productive and degraded lands of the arid zone of the Russian Federation".

Received: 18.10.2022

Accepted: 30.11.2022

References:

1. Glezdenev V.L. *Ocherk rabot po ukrepleniyu sypuchikh peskov v Achikulakskom pristavstve Stavropol'skoj gubernii* [An essay on the fixation of loose sands in the Achikulak bailiff of the Stavropol province]. Compilation-yearbook of the Forest Department. St. Pb. 1913. 39 p.
2. Zakharov A.Yu., Chibisov G.A. *Klassifikatsiya derev'ev pri rubkakh ukhoda* [Classification of trees during care-aimed felling]. *Lesnoj vestnik* [Forest Bulletin]. 2013. 3. pp 76-80.
3. Forest management instruction. – M. "Rosleskhoz" Publ. house, 2012. 54 p.
4. Manaenkov A.S. *Lesomelioratsiya aren zasushlivoj zony* [Forest reclamation of arid zone arenas]. 2nd edition revised and expanded. Volgograd: VNIALMI Publ. house. 2018. 428 p.
5. Manaenkov A.S., Kulik A.K. *Zakreplenie i oblesenie peskov zasushlivoj zony* [Fixation and afforestation of the arid zone sands]. Volgograd. 2016. 55 p.
6. Nikiforchin I.V., Vetrov L.S., Vavilov S.V. *Taksatsiya lesa* [Forest taxation]. Textbook. St. Petersburg: SPbPU Publ. house, 2011. 242 p.
7. Surkhaev G.A., Surkhaev I.G., Kulik K.N. *Opyt lesomelioratsii ekosistem peskov Tersko-Kumskogo mezhdurech'ya* [Experience of forest reclamation of the Terek-Kuma interfluvial sand ecosystems]. *Ekosistemy: Ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics]. 2019. 4. pp 1-17.
8. Surkhaev I.G., Surkhaev G.A. *Osobennosti formirovaniya vegetativnykh drevostoev Robinia pseudoacacia na Tersko-Kumskikh peskakh* [Features of the formation of Robinia pseudoacacia vegetative reproduction forest stands on the Terek-Kuma interfluvial sands]. *Lesnoj vestnik* [Forest Bulletin]. 2018. 6. pp. 23-30.
9. Usmanov R.Z., Jalalova M.I., Babaeva M.A. *Ispol'zovanie metodov fitomelioratsii na degradirovannykh pastbishchakh Tersko-Kumskikh peskov* [The use of phytomelioration methods on degraded pastures of the Terek-Kuma interfluvial sands]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2008. No.3. pp 109-111.
10. Usmanov R.Z., Balomirzoev M.A., Kotenko M.E. *Problemy bor'by s degradatsiej i opustynivaniem Kizlyarskikh pastbishch v svyazi s aridizatsiej klimata i antropogennykh vozdeystvij na prirodnye ekosistemy* [Problems of degradation and desertification combating on Kizlyar pastures due to climate aridization and anthropogenic impacts on natural ecosystems]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 3. 2010. pp. 117-122.
11. Sapanov M.K. Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region. *Arid Ecosystems*. 2018. Vol. 8. 1. Pp. 13-21. doi: 10.1134/S20790961180100927
12. Lepesko V.V., Belyaev A.I., Pleskachev Yu.N., Pugacheva A.M., Rybashlykova L.P., Fomin S.D. Monitoring the state and ecological ameliorative effect of tree and shrub coulisse and row plantings on pastures in the arid conditions of the northern Caspian. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 341. doi:10.1088/1755-1315/341/1/012103



Фото. Защитные лесные насаждения – объекты НИР на Терско-Кумских песках

Цитирование. Сурхаев Г.А., Сурхаева Г.М. Эколого-биологические аспекты формирования пастбищезащитных насаждений в фитомелиорации Западного Прикаспия // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 44-49. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.007.44-49

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Surkhaev G.A., Surkhaeva G.M. Ecological and Biological Aspects of the Pasture-Protective Elm Plantations Formation in the Phytomelioration of the Western Near-Caspian Region. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 44-49. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.007.44-49

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Лесная рекультивация техногенно-нарушенных земель в центральной части Северного Кавказа

Игорь Нажафович Алиев^{✉1}, д.с.-х.н., доцент, e-mail: aliev61@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-2333;

Валентина Павловна Воронина², д.с.-х.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-3441-5314;

Зора Хакимовна Хамарова¹, д.с.-х.н., ORCID 0000-0001-8030-209X;

Жамал Хажисманович Бакуев¹, д.с.-х.н., доцент, ORCID 0000-000204898-6417 –

¹ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства», e-mail: kbrapple@mail.ru, 360004, ул. Шарданова, 23, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

²ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет, e-mail: volgau@volgau.com, 400062, пр-т Университетский, 26, г. Волгоград, Россия

Актуальность проблемы обусловлена наличием открытой карьерной добычи полезных ископаемых на Северном Кавказе, что приводит к увеличению деградации ландшафтов и растительного покрова. Целью исследований являлась комплексная оценка естественных древесно-кустарниковых насаждений, отбор видового ассортимента для проведения биологической рекультивации на техногенно-нарушенных землях Северного Кавказа и разработки лесокультурных мероприятий по лесохозяйственному восстановлению нарушенных земель. Для изучения биоэкологического потенциала древесных пород, таксационных характеристик, эдафических показателей применялись общепринятые методики. Объектами исследований являлись естественно произрастающие древесные и кустарниковые виды, где ранее добывались различные полезные ископаемые. По результатам исследований была разработана классификация техногенно-нарушенных земель с учетом зональных особенностей, лесо- и фитоприспособности, что позволяет оптимизировать технологии по рекультивации земель. Комплексная оценка адаптационного потенциала, учитывающая биоэкологию вида, его отношение к эдафическим и климатическим факторам, позволила выделить 5 групп древесных растений, которые целесообразно использовать при лесной рекультивации. Выявлены особенности формирования корневых систем на разных ярусах склона, показывающие более мощное развитие в нижней части склона. Рекомендован ассортимент растений, с учетом природных зон и видов добываемого сырья. Разработаны основные направления лесной рекультивации, где учитываются рельефные особенности и пригодность почвогрунтов. Лесную рекультивацию на техногенно-нарушенных землях возможно проводить без комплексной мелиорации на пригодных почвогрунтах, а на участках со сложным рельефом и неблагоприятными лесорастительными условиями требуется выполаживание и применение дополнительных мелиоративных приемов улучшения почвогрунтов.

Ключевые слова: лесная рекультивация, техногенно-нарушенные земли, древесно-кустарниковые насаждения, ассортимент древесных пород.

Работа является составной частью научных исследований ФГБНУ «Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного садоводства» согласно Гос. заданию в соответствии с планом НИОКР, утвержденным МСХ РФ по темам: «Разработать и внедрить базовую технологическую модель почвозащитной адаптивно-ландшафтной системы горного и предгорного садоводства, обеспечивающую охрану и воспроизводство почвенного плодородия, повышения устойчивости и продуктивности горных и предгорных садовых агроландшафтов», «Влияние экологических факторов на состояние и рост древесных пород в техногенных землях КБР», № гос. регистрации 1020700744327, №2060721133295.

Поступила в редакцию: 07.10.2022

Принята к печати: 05.12.2022

В центральной части Северного Кавказа остро стоит проблема восстановления деградированного растительного покрова, который был разрушен при добыче полезных ископаемых открытым способом. По сведениям Государственного земельного комитета России, на данной территории находится более 200 карьеров, где разрабатываются месторождения песчано-гравийной смеси, песка, камней и глин и др., которые используются при производстве различных строительных материалов. В Кабардино-Балкарской республике (КБР) разведаны и используется 53 месторождения, где добывается 11 видов полезных ископаемых на общей площади свыше 1000 га. На начало 2022 года в Республике числится около 750 га техногенно-

нарушенных земель, складировано более 500 000 м³ плодородной почвы [12].

Актуальность восстановления нарушенных ландшафтов обусловлена необходимостью формирования эрозионно-устойчивых склоновых ландшафтов, которые хорошо отвечают требованиям рекреационных зон. С научной точки зрения оценка естественного лесорастительного потенциала позволяет выявить особенности и направленность сукцессий, чтобы разработать эффективные и малозатратные лесокультурные мероприятия по восстановлению нарушенных земель.

Целью научных исследований являлось изучение биоэкологических особенностей естественных древесно-кустарниковых сообществ на

техногенно-нарушенных землях и выявление перспективного ассортимента, обладающего комплексом адаптационных приспособлений к техногенным почвогрунтам.

Материалы и методика исследований. Методической основой при проведении наблюдений на нарушенных землях являлись общепринятые в лесомелиоративной практике методики, а также указания по биологической рекультивации земель [2,6].

Объектами исследований являлись древесные и кустарниковые виды, естественно произрастающие на месторождениях, где добывались песок, галечники, вулканический пепел, различные глины.

Опытные объекты расположены с учетом зональных особенностей в Кабардино-Балкарской республике (КБР). Пробные площади были заложены в горно-степной, нижнегорной, предгорной, степной зонах; в горах, предгорье и равниной территории. Они находятся на высоте 150-1300 м над уровнем моря, на различных типах почв, характерных для умеренно-континентального, континентального климата, с коэффициентом увлажнения от 0,6 до 1,4, где выпадает от 300-350 до 600-700 мм осадков год, а среднегодовая температура воздуха варьирует от + 3 до + 12°C.

На опытных участках произрастает не менее 200 штук деревьев и кустарников. Временные пробные площади имеют разный размер (с учетом количества древесных растений) – 1200 м², 1650 м², 5000 м² и др.

Таксационные показатели растений определялись методом сплошного перечета на пробной площади с учетом видовой принадлежности и жизненного состояния растений. Для выявления биометрических особенностей растений измерялись диаметр ствола на высоте 1,3 м и у корневой шейки, текущий прирост и высота. Среднестатистические показатели, достоверность и точность опыта рассчитывались с использованием адапти-

рованных методик [3, 10]. При закладке пробных площадей выбирались участки, расположенные на склоне в нижней, средней, верхней части и на дне карьера. Также при оценке лесорастительных условий учитывалась экспозиция склона и разнообразие почвогрунтов и технических смесей. При комплексном анализе соответствия древесной породы лесорастительным условиям использовали усредненную модель дерева, а также особенности распространения корневых систем [6, 9, 10, 14].

Результаты и их обсуждение. В КБР при добыче полезных ископаемых за период 2009-2021 гг. нарушено 114,5 га, а восстановлено 83,5 га. Наибольшие объемы биологической рекультивации были проведены в 2012 году. Затем темпы восстановления техногенно-нарушенных земель существенно снизились.

Общая площадь нарушенных земель к 2022 году увеличилась по сравнению с 2009 годом (рис. 1). Диспропорция между нарушенными землями и восстановленными за 13 лет составила 31,0 га. То есть естественное восстановление и рекультивация проводится, но в недостаточных объемах, что увеличивает риск развития эрозии почвы и снижает привлекательность ландшафтов.

В КБР осуществляется открытая добыча сырья, поэтому образуются отвалы и карьеры различных форм, размеров и высоты. По результатам научных исследований разработана классификация земель, подверженных техногенному воздействию (рисунок 2). При разработке классификации было выделено 11 лимитирующих экологических факторов, от которых зависит направление биологического этапа рекультивации нарушенных земель (присутствие горных пород, степень эрозии, крутизна склона, экспозиция, дефляция, высота отвала, глубина карьера, горнотехническая реабилитация, залужение и облесение, возраст карьерной разработки).

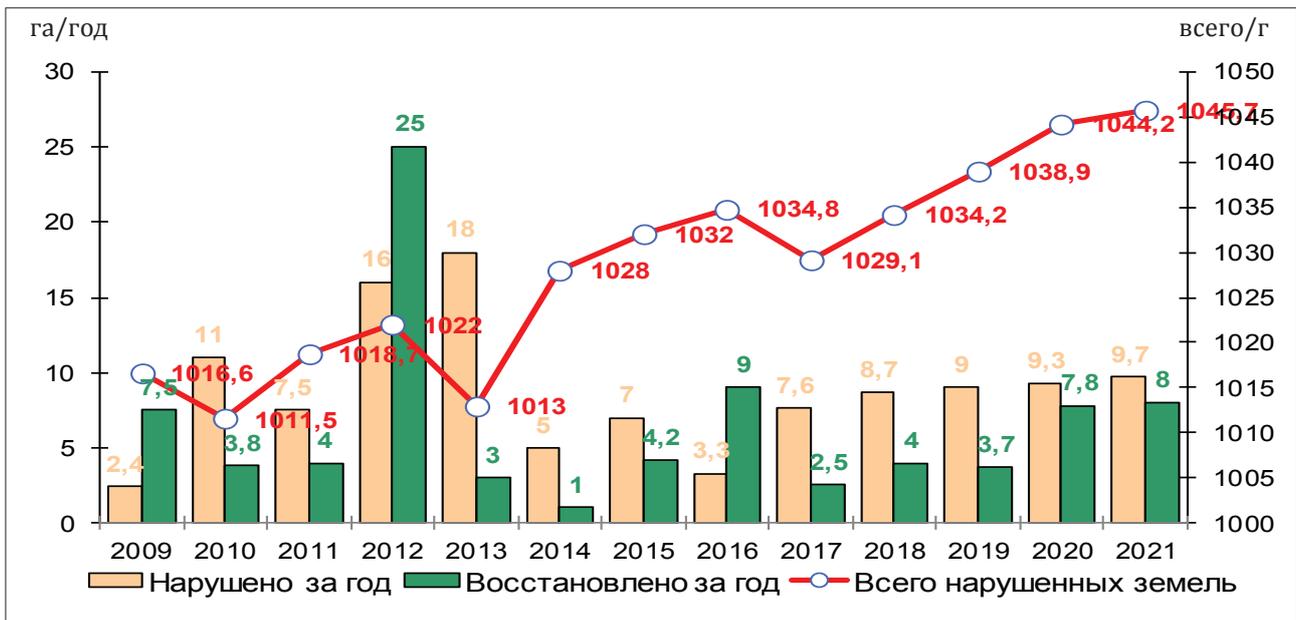


Рисунок 1. Динамика нарушенных земель КБР и их восстановление, га

Нарушенные земли в КБР по степени лесопригодности к рекультивации можно разделить на 3 группы, где в основу пригодности почвогрунтов для фито- и лесомелиорации положен комплекс эдафических факторов (табл. 1). Первая группа представлена непригодными или ограниченно пригодными почвогрунтами, где требуется осуществлять коренную мелиорацию, направленную на оптимизацию pH среды; вторую группу образуют почвогрунты малопригодные, где отмечается бедность субстрата питательными веществами, рекомендуется формировать травянисто-древесный покров аналогичный естественным фитоценозам; третья группа – это пригодные почвогрунты для лесо- и фитомелиорации, где требуется

проведение горнотехнических работ по выполаживанию рельефа.

В результате наблюдений за древесно-кустарниковыми насаждениями, произрастающими на техногенных ландшафтах, по всем древесным породам выявлена хорошая закономерность, отмечается, что после определенного периода адаптации средний прирост по высоте в 1,2-2,8 раз меньше, чем текущий прирост. Такая особенность поведения растений характерна в начальный период жизни у растений на бедных нарушенных субстратах, когда корням растений приходится осваивать почвогрунты, где имеется недостаток минерального питания и наличие токсичных веществ, которые лимитируют линейный прирост [5, 9, 14, 15].



Рисунок 2 – Классификация техногенно-нарушенных земель Северного Кавказа

Проведенные наблюдения за естественно растущими древесно-кустарниковыми насаждениями на техногенно-нарушенных землях показали высокий адаптивный потенциал к почвенно-климатическим условиям, что обеспечивает их широкое распространение в неблагоприятных условиях, поэтому аборигенные виды являются основными объектами отбора наиболее приспособленных пород для восстановления техногенных ландшафтов [4,5,17].

При комплексной биоэкологической оценке произрастающих аборигенных видов выделено 5 групп древесных и кустарниковых растений, которые имеют различные механизмы устойчивости по отношению к эдафическим и климатическим факторам. Первая группа видов древесных пород характеризуется устойчивостью к высокой кислотности, бедности и сухости субстрата, воздействию низких температур (табл.1). К данной группе относятся вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides* L.), шиповник собачий (*Rosa*

canina L.), ива остролистная (*Salix acutifolia* Willd.), ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.), терн обыкновенный (*Prunus spinosa* L.). При понижении кислотности субстрата хорошо растут и развиваются древесные породы, отнесенные ко II группе: алыча (*Prunus divaricata* Ldb.), боярышник однопестичный (*Crataegus monogina* Jacq.), вяз шершавый (*Ulmus glabra* Mill.), ива козья (*Salix caprea* L.).

Древесные и кустарниковые растения, входящие в состав I и II групп, следует использовать при рекультивации земель в первую очередь, так как они наиболее устойчивы к pH почвогрунтов, мирятся с затенением и действием отрицательных температур.

Виды из III и IV групп рекомендуется применять при создании лесных культур, где биоэкологические потребности пород соответствуют почвенно-климатическим факторам среды. Лесомелиорация с использованием очень ценных в хозяйственном отношении деревьев и кустарников, отнесенных к V группе, возможна только после проведения мероприятий по улучшению лесорастительных условий.

Таблица 1 – Адаптационный потенциал дендромелиорантов на техногенно-нарушенных почвогрунтах

№ п/п	Вид	Эдафические факторы				Климатические факторы		Группа	
		рН			бедность почвогрунтов	сухость местообитания	недостаток света		низкие температуры
		кислая	нейтральная	щелочная					
I - группа Устойчивые к неблагоприятным экологическим факторам									
1	Вяз приземистый (<i>Ulmus pumila</i>)	+	+	+	+	+	0	+	
2	Ива остролистная (<i>Salix acutifolia</i> Willd.)	+	+	+	+	0	0	+	
3	Ива трехтычинковая (<i>Salix triandra</i> L.)	0	+	+	+	-	+	+	
4	Клен ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.)	+	+	+	+	+	-	+	
5	Облепиха крушиновая (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	0	+	+	+	0	0	+	
6	Свидина (<i>Cornus sanguinea</i> L.)	+	+	0	0	0	0	+	
7	Терн (<i>Prunus spinosa</i> L.)	0	+	+	+	+	0	+	
8	Шиповник (<i>Rosa canina</i> L.)	+	+	+	+	+	0	+	
II - группа Среднеустойчивые к неблагоприятным экологическим факторам									
9	Алыча (<i>Prunus divaricata</i> Ldb.)	-	+	+	+	+	0	0	
10	Боярышник однопестичный (<i>Ctaegus monogina</i> Jacq.)	-	+	+	0	+	0	+	
11	Вяз шершавый (<i>Ulmus glabra</i> Mill.)	-	+	+	0	0	0	+	
12	Ива козья (<i>Salix caprea</i> L.)	-	+	+	+	0	0	+	
III - группа Среднеустойчивые к эдафическим факторам									
13	Робиния лжеакация (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	-	+	+	0	+	-	0	
14	Граб обыкновенный (<i>Carpinus betulus</i> L.)	-	0	+	0	+	0	+	
15	Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i> L.)	-	+	0	+	+	-	+	
16	Тополь белый (<i>Populus alba</i> L.)	-	+	0	0	0	0	+	
IV - группа Малоустойчивые к эдафическим факторам									
17	Абрикос обыкновенный (<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.)	0	+	0	+	+	-	0	
18	Кизил (<i>Cornus mas</i> L.)	0	+	+	+	+	0	-	
V - группа Малоустойчивые к экологическим факторам									
19	Груша кавказская (<i>Pyrus caucasica</i> Fed.)	0	+	+	0	0	0	0	
20	Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	0	+	0	-	+	0	+	
21	Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i> L.)	0	+	+	0	-	+	+	
22	Лещина обыкновенная (<i>Corylus avellana</i> L.)	0	+	+	-	-	0	+	
23	Мирикария лисохвостниковая (<i>Myricaria alopecuroides</i> Schrenk.)	-	+	+	+	0	-	0	
24	Мушмула германская (<i>Mespilus germanica</i> L.)	-	0	-	-	0	+	0	
25	Ольха черная (<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.)	0	+	+	0	-	0	+	
26	Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	0	+	0	0	0	0	+	
27	Шелковица черная (<i>Morus nigra</i> L.)	-	+	+	-	0	0	0	
28	Яблоня лесная (<i>Malus silvestris</i> (L.) Mill.)	-	+	+	0	+	0	0	
29	Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	-	+	0	-	-	0	0	

Примечание: Реакция: + – оптимальная; 0 – нейтральная; - – негативная.

Как показали наблюдения, различные условия влагообеспеченности на откосах карьеров нару-

шенных земель оказывают существенное влияние на развитие и рост корневой системы растений и её

способности закреплять подвижный почвогрунт [8, 9, 10]. Проведенные раскопки корневых систем у облепихи крушиновой и тополя бальзамического в трехлетнем возрасте показали, что в нижнем ярусе склона масса корневой системы вдвое превышает показатели в верхней части склона (таблица 2).

Таблица 2 – Особенности корневой системы в различных частях склона

Ярус склона	Масса корней	
	граммы	% к контролю
Облепиха крушиновая – I группа		
Верхний (контроль)	67,89	100
Средний	98,95	145,8
Нижний	136,5	201,2
Тополь бальзамический – III группа		
Верхний (контроль)	103,87	100
Средний	170,74	164,4
Нижний	218,23	210,1

Выявленные особенности развития корневых систем древесных пород, принадлежащих к различным биоэкологическим группам, позволяют

отметить сходность поведения корней на разных ярусах склона. Также полученные данные позволяют судить, что в верхней части склона складываются менее благоприятные условия лесопригодности для древесно-кустарниковой растительности из-за недостатка влаги в почвогрунтах, дефицит которой в меньшей степени отмечается в нижних частях склона [1, 5, 13].

Обобщая положительный опыт биологической рекультивации техногенно-нарушенных земель в России и за рубежом, учитывая широкий спектр добываемого сырья и техногенных ландшафтов на Северном Кавказе, была разработана схема рекультивационных мероприятий и целевое использование территории. При достаточно благоприятных элементах рельефа на техногенных землях работы горнотехнического этапа рекомендуется осуществлять с целью проведения планировки поверхности отвалов и склонов карьеров (рис. 3), чтобы культуртехнические операции осуществлять механизированным способом.



Рисунок 3 – Целевые направления биологической рекультивации техногенных ландшафтов Северного Кавказа

Нанесение плодородного слоя почвы, запасы которого в КБР составляют около 500 тыс. м³, создает возможность превратить нарушенные земли в продуктивные сельскохозяйственные угодья. Рекультивация техногенных ландшафтов ставит основной целью уменьшить негативное антропогенное влияние на биогеоценозы, в том числе на соседние с ними территории [8]. Изучение особенностей формирования лесных насаждений, имеющих почвозащитное и противоэрозионное значение, позволяет научно-обоснованно подойти к выбору ассортимента древесных и кустарниковых пород, которые наиболее устойчивы к эдафическим и климатическим факторам [1]. Лесомелиоративными методами и приемами можно добиться высокой эффективности при биологическом этапе рекультивации.

Комплексная оценка биоэкологического потенциала древесно-кустарниковых подтверждает перспективность лесной рекультивации. При отборе видов перспективными являются породы, имеющие высокую засухоустойчивость, низкую требовательность к почвенному плодородию, устойчивость к подвижности почвогрунтов и хорошую корнеотпрысковую способность [13, 14].

На всех грунтосмесях, где ранее были промышленные карьеры, хорошие результаты по естественному распространению, росту и развитию выявлены у тополей, вяза приземистого, облепихи крушиновой, розы собачьей, ивы козьей и остролистной, терна и свидины.

С учетом зональной особенности и видов добываемого сырья, был разработан ассортимент древесных растений, таблица 3.

Таблица 3 – Перспективный ассортимент растений для создания лесных культур на техногенно-нарушенных землях Северного Кавказа

№ п/п	Вид	Природно-климатические зоны										
		Степная				Предгорная, нижнегорная				Горностепная		
		добываемое природное сырье										
		ПГС	ГЛ	СГЛ	ИЗ	ПГС ь	ВлП	ВлТ	ПГС	ИЗ	ВлПП	Тотх
1	Алыча (<i>Prunus divaricata</i> Ldb.)	o	o	v	o	v	v	v	o	o	o	x
2	Вяз приземистый (<i>Ulmus pumila</i> L.)	v	v	v	v	v	v	v	o	o	o	o
3	Вяз шершавый (<i>Ulmus glabra</i> Mill.)	v	v	v	o	v	v	v	v	o	o	o
4	Гледичия трехколючковая (<i>Gleditschia triacantos</i> L.)	v	v	v	o	v	o	o	o	o	o	x
5	Ива козья (<i>Salix caprea</i> L.)	v	v	v	o	v	v	v	v	o	o	o
6	Ива остролистная (<i>Salix acutifolia</i> Willd.)	v	v	v	o	v	v	o	v	o	v	v
7	Ива трехтычинковая (<i>Salix triandra</i> L.)	o	o	v	o	v	v	o	v	o	o	o
8	Клен ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.)	v	v	v	o	v	v	v	v	o	v	o
9	Мушмула германская (<i>Mespilus germanica</i> L.)	x	o	o	x	x	v	v	x	o	v	x
10	Облепиха крушиновая (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	v	v	v	o	v	v	v	v	o	v	v
11	Робиния лжеакация (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	v	o	v	x	v	o	o	o	x	o	x
12	Тополь дрожащий (<i>Populus tremula</i> L.)	o	v	v	o	o	v	v	o	o	o	x
13	Терн (Слива колючья) (<i>Prunus spinosa</i> L.)	v	v	v	o	v	v	v	v	o	v	o
14	Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i> L.)	v	o	o	o	v	v	v	o	o	o	x
15	Тополь белый (<i>Populus alba</i> L.)	v	o	o	o	v	v	v	o	o	o	x
16	Шиповник (Роза собачья) (<i>Rosa canina</i> L.)	v	o	v	o	v	v	v	o	o	o	o

Примечание: v – широкое применение; o – ограниченное использование; x – выращивать не рационально; ПГС – Песчано-галечниковая смесь, ГЛ – Глины, СГЛ – Суглинки, ИЗ – Известняк, ВлП – Вулканический пепел, ВлТ – Вулканический туф, ВлПП – Вулканический пепел, пемза, Тотх – Техногенные отходы.

Лесные насаждения на техногенных землях рациональней создавать смешанными по защитному типу, то есть они должны включать кустарники и почвоулучшающие породы, особенно с азотфиксирующей способностью. При составлении схем смешения целесообразно использовать породы многоцелевого назначения, обладающие фитоценотической совместимостью [5, 17].

Лесохозяйственные мероприятия в условиях техногенных ландшафтов должны быть ориентированы на сохранение естественных насаждений и их распространение, а также проведение лесомелиоративных работ и создание лесных культур различного назначения, с целью повышения реализации биологического потенциала растений и формирования антропогенно-улучшенных ландшафтов.

Заключение.

1. Техногенно-нарушенные земли на Северном Кавказе образуются на месте открытых карьерных разработок, площадь которых постоянно увеличивается, что создает экологическую угрозу окружающей среде из-за интенсификации эрозийных

процессов, уменьшения ареала естественных фитоценозов, поэтому актуальность лесной рекультивации несомненна.

2. На техногенных ландшафтах Кабардино-Балкарии естественно произрастает 29 видов, образуя древесно-кустарниковую ярус возрастом 2-62 года. Установлено, что в нижних частях склонов, биометрические показатели древесных пород выше в 1,2-5,1 раза по сравнению с верхними частями, где лесорастительные условия более засушливые.

3. При разработке классификации техногенно-нарушенных земель Северного Кавказа в основу была положена эколого-технологическая перспектива рекультивации, базирующаяся на лесо- и фитопригодности рекультивируемой территории. Было выделено три категории почвогрунтов: 1) непригодные, требующие проведения коренной мелиорации; 2) малопригодные, перспективные для формирования естественного травянисто-древесного покрова; 3) пригодные, требующие трансформации рельефа.

4. Адаптационный потенциал дендромелиорантов, оцененный по комплексу эдафических и

климатических факторов выявил 5 групп. Первую и вторую группы образуют 12 видов, имеющих высокую и среднюю устойчивость к неблагоприятным экологическим факторам. В третью и четвертую группы вошли 6 видов, характеризующихся средней и малой устойчивостью к эдафическим факторам. Пятая группа представлена 11 видами с невысокой устойчивостью к экологическим факторам. С учетом зональных особенностей и состава добываемого сырья для проведения лесной рекультивации разработан ассортимент деревьев и кустарников из 16 наиболее толерантных видов, которые пригодны для создания лесных культур многоцелевого назначения.

Литература:

1. Алиев И.Н., Хамарова З.Х. Агрэкологические факторы естественного формирования растительности на техногенных ландшафтах Кабардино-Балкарии // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. №2. С. 32-33.
2. Воронина В.П., Узолин А.И., Кулик А.В. Биологическая продуктивность пастбищных экосистем сухоходольных водосборов среднего Дона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. №3(51). С. 43-50.
3. Зубов А.Р., Зыков И.Г., Тарарико А.Г. Формирование эрозионно-устойчивых агроландшафтов в бассейне Северского Донца. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2009. 240 с.
4. Капитонов Д.Ю. Биологическая рекультивация отвалов вскрышных пород в районе КМА // Научный журнал КубГАУ. 2012. №75(01). С. 1-10. Режим доступа свободный: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/31.pdf>
5. Кулик А.В., Воронина В.П., Узолин А.И. Опыт формирования агролесомелиоративной системы на правом берегу среднего Дона с целью повышения продуктивности агроэкосистем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. №3(55). С. 142-152. DOI:10.32786/2071-9485-2019-03-18
6. Лучков П.Г., Унажиков Б.Д., Расулов А.Р. Плодоводст-

во на мелиорированных склонах. – Нальчик, 2004. 187 с.

7. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Российской Федерации. Том 44. Республика Кабардино-Балкария // Комитет РФ по геологии и использованию недр. Российский федеральный геологический фонд. М., 1994. С. 27-34.
8. Назаренко Е.Б., Гамсахурдия О.В. Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов // Лесной вестник. 2013. №4. С. 183-187.
9. Панков Я.В., Андрущенко П.Ф. Лесная рекультивация техногенных земель КМА: Монография. Воронеж, Из-во ВГЛТА, 2003. 118 с.
10. Пигорев И.Я. Экология техногенных ландшафтов КМА и их биологическое освоение: монография. Курск: КГСХА, 2006 366 с.
11. Проскураков М.А. Хронобиологический анализ растений при изменении климата Алматы: ЛЕМ, 2012. 228 с.
12. Сводный отчет о рекультивации земель, снятии и использовании плодородного слоя почвы в КБР за 2021 г. / Государственный земельный комитет РФ КБР. – Нальчик, 2022. 2 с.
13. Тхакахова Д.М. Состояние древесной растительности техногенных ландшафтов в зависимости от солнечной инсоляции склонов карьеров // Д.М. Тхакахова, Ж.Х. Бакуев, З.Х. Хамарова, И.Н. Алиев // Вестник мелиоративной науки. ФГБНУ ВНИИ «Радуга». Коломна, 2021. Вып.1. С. 35-41.
14. Хамарова З.Х., Алиев И.Н. Тхакахова Д.М. Формирование защитных лесных насаждений в техногенных землях Центральной части Северного Кавказа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». Йошкар-Ола, 2020. №1 (45). С. 51-65.
15. Kaar E. Kiviste. Maavarade kaevandamide ja puistangute rekultiveerimine Eestis // Tartu, 2010. 444 lk.
16. Singh V. Geographical Adaptation and Distribution of Seabuckthorn (*Hippophae L.*) // Resources. In: Seabuckthorn (*Hippophae L.*): A Multipurpose wonder plant. Vol. I (V. Singh et al., Eds., 2003) p.21-34.
17. Stys S. Rekultivace tecnogennich krajini // Uhlí. 1983. v.31 №2. S. 84-86.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.008.50-57

Forest Revegetation of Technogenically Disturbed Lands in the Central Part of the North Caucasus

¹Igor N. Aliev ✉, D.S-Kh.N., Associate Professor, e-mail: aliev61@mail.ru, 0000-0003-1144-2333;

²Valentina P. Voronina, D.S-Kh.N., Senior Researcher, 0000-0002-3441-5314;

¹Zora Kh. Khamarova, D.S-Kh.N., 0000-0001-8030-209X;

¹Zhamal Kh. Bakuev, D.S-Kh.N., Associate Professor, 0000-000204898-6417 –

¹Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Gardening», e-mail: kbrapple@mail.ru, Nalchik, KBR, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Volgograd State Agricultural University”, e-mail: volgau@volgau.com, Universitetskiy Prospekt, 26, Volgograd, Russia

Abstract. The urgency of the problem is due to the presence of open-pit mining in the North Caucasus, which leads to an increase in the degradation of landscapes and vegetation cover. The purpose of the research was a comprehensive assessment of natural tree and shrub plantations, selection of a species assortment for biological recultivation on technogenically disturbed lands of the North Caucasus and the development of forest-cultural measures for the forestry restoration of disturbed

lands. Generally accepted methods were used to study the bioecological potential of tree species, taxation characteristics, and edaphic indicators. The objects of research were naturally growing tree and shrub species, where various minerals were previously extracted. Based on the results of the research, a classification of technogenically disturbed lands was developed taking into account zonal features, forest and phytoprimability, which makes it possible to optimize technologies for land reclamation. A

comprehensive assessment of the adaptive potential, taking into account the bioecology of the species, its relation to edaphic and climatic factors, allowed us to identify 5 groups of woody plants that are advisable to use in forest reclamation. The features of the formation of root systems on different levels of the slope are revealed, showing a more powerful development in the lower part of the slope. An assortment of plants is recommended, taking into account natural zones and types of extracted raw materials. The main directions of forest reclamation have been developed, where relief features and the suitability of soils are taken into account. Forest reclamation on technogenically disturbed lands can be carried out without complex reclamation on suitable soils, and in areas with difficult terrain and unfavorable forest growing conditions, leveling and the use of additional reclamation techniques to improve soils are required.

Keywords: forest revegetation, technogenically disturbed lands, tree and shrub plantations, assortment of tree species

Received: 07.10.2022

Accepted: 05.12.2022

Translation of Russian References:

1. Aliyev I.N., Khamarova Z.H. *Agroekologicheskie faktory estestvennogo formirovaniya rastitel'nosti na tekhnogennykh landshaftakh Kabardino-Balkarii* [Agroecological factors of natural vegetation formation on technogenic landscapes of Kabardino-Balkaria]. *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skokhozyajstvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. 2007. 2. pp. 32-33.

2. Voronina V.P., Uzoln A.I., Kulik A.V. *Biologicheskaya produktivnost' pastbishchnykh ekosistem sukhodol'nykh vodosborov srednego Dona* [Biological productivity of dry-valleys catchments pasture ecosystems of the Middle Don]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower-Volga agrouniversity complex: Science and higher professional education]. 2018. 3(51). pp. 43-50.

3. Zubov A.R., Zykov I.G., Tarariko. A.G. *Formirovanie erozionno-ustojchivykh agrolandshaftov v bassejne Severskogo Dontsa* [Formation of erosion-resistant agricultural landscapes in the Seversky Donets river basin]. Volgograd: VNIALMI Publ. house. 2009. 240 p.

4. Kapitonov D.Yu. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya otvalov vskryshnykh porod v rajone KMA* [Biological recultivation of overburden dumps in the Kursk Magnetic Anomaly region]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific journal of Kuban SAU]. 2012. No. 75(01). pp. 1-10. Free access mode: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/31.pdf>

5. Kulik A.V., Voronina V.P., Uzoln A.I. *Opyt formirovaniya agrolesomeliorativnoj sistemy na pravom beregu srednego Dona s tsel'yu povysheniya produktivnosti agroekosistem.*

[The experience of forming an agro-reclamation system on the right bank of the Middle Don river in order to increase the productivity of agroecosystems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower-Volga agrouniversity complex: Science and higher professional education]. 2019. 3(55). pp. 142-152. DOI:10.32786/2071-9485-2019-03-18.

6. Luchkov P.G., Unazhkov B.D., Rasulov A.R. *Plodovodstvo na meliorovannykh sklonakh* [Fruit growing on reclaimed slopes]. Nalchik. 2004. 187 p.

7. Mineral resource base of the construction industry of the Russian Federation. Volume 44. Republic of Kabardino-Balkaria. Committee of the Russian Federation on Geology and Subsoil Use. Russian Federal Geological Fund. M. 1994. pp. 27-34.

8. Nazarenko E.B., Gamsakhurdia O.V. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Biological recultivation of technogenic landscapes]. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin]. 2013. 4. pp. 183-187.

9. Pankov Ya.V., Andryushenko P.F. *Lesnaya rekul'tivatsiya tekhnogennykh zemel' KMA* [Forest recultivation of technogenic lands of the Kursk Magnetic Anomaly region]: Monograph. Voronezh, VGLTA Publishing House, 2003. 118 p.

10. Pigorev I.Ya. *Ekologiya tekhnogennykh landshaftov KMA i ikh biologicheskoe osvoenie* [Ecology of the Kursk Magnetic Anomaly region technogenic landscapes and their biological development]: monograph. Kursk: Kursk SAA Publ. house, 2006 366 p.

11. Proskuryakov M.A. *Khronobiologicheskij analiz rastenij pri izmenenii klimata Almaty* [Chronobiological analysis of plants under climate change in Almaty]: LEM Publ. house, 2012. 228 p.

12. Summary report on land reclamation, removal and use of the fertile soil layer in the Republic of Kabardino-Balkaria for 2021 // State Land Committee of the Russian Federation of the Republic of Kabardino-Balkaria. Nalchik, 2022. 2 p.

13. Tkachkova D.M., Bakuev Zh.Kh., Khamarova Z.H., Aliyev I.N. *Sostoyanie drevesnoj rastitel'nosti tekhnogennykh landshaftov v zavisimosti ot solnechnoj insolyatsii sklonov kar'erov* [The technogenic landscapes woody vegetation state depending on the quarries slopes solar insolation]. *Vestnik meliorativnoj nauki* [Bulletin of Meliorative Science]. FSBSI Research Institute "Raduga" Publ. house. Kolomna, 2021. Issue 1. pp. 35-41.

14. Khamarova Z.H., Aliev I.N., Tkachkova D.M. *Formirovanie zashchitnykh lesnykh nasazhdenij v tekhnogennykh zemlyakh Tsentral'noj chasti Severnogo Kavkaza* [Formation of protective forest plantations on the Central part of the Northern Caucasus technogenic lands]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie»* [Bulletin of the Volga State University of Technology. The series "Forest. Ecology. Nature management"]. Yoshkar-Ola, 2020. 1 (45). pp. 51-65.

Цитирование. Алиев И.Н., Воронина В.П., Хамарова З.Х., Бакуев Ж.Х. Лесная рекультивация техногенно-нарушенных земель в центральной части Северного Кавказа // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 50-57. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.008.50-57

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Aliyev I.N., Voronina V.P., Khamarova Z. H., Bakuev Zh.Kh. Forest Revegetation of Technogenically Disturbed Lands in the Central Part of the North Caucasus. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 50-57. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.008.50-57

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Показатели водного баланса на различных агрофонах в лесостепной зоне Нечерноземья

Анатолий Иванович Петелько, д.с.-х.н., г.н.с., ORCID: 0000-0002-7546-0410;

Анастасия Витальевна Выпова ✉, директор, e-mail: vyrova-av@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1910-9597 –

Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: zaglos@mail.ru, 303035, ул. Семашко, д.2А, г. Мценск, Орловская обл., Россия

В многофакторном стационарном опыте на стоковых площадках проводились наблюдения за снегоотложением, промерзанием и влажностью почвы, снеготаянием и водопоглощением. Целью исследований являлась разработка теории формирования весеннего стока при уровнях природных факторов выше лимитирующих, изучение закономерностей характера снегоотложения в комбинированной стокорегулирующей лесной полосе с низкорослым кустарником и предотвращение глубокого промерзания почвы. В результате научных исследований выявлена роль главных природных факторов и их взаимодействие на формирование поверхностного стока талых вод. Установлено, что при неглубоком промерзании почвы (до 50 см) весенний сток не формируется. За три года наблюдений промерзание почвы было слабым, что способствовало постепенному поглощению всей талой воды почвой. Водопоглощение на контрольных вариантах без лесной полосы было меньшим и колебалось от 34 до 110 мм, а на агрофонах зяби с лесополосой и низкорослым кустарником было выше на 17-36 мм. Эрозии почв не наблюдалось. Полученные материалы исследований позволили выявить влияние основных природных и антропогенных факторов на формирование весеннего стока талых вод. Это даёт возможность разработать новые приёмы регулирования снегоотложения на склонах в стокорегулирующих лесных полосах комбинированной конструкции с низкорослым кустарником. Это направление является актуальным и в наших условиях проводится впервые. Для успешной защиты почв от смыва и размыва необходимо знать закономерности эрозионных процессов, особенности их проявления в зависимости от совокупности определяющих природных факторов.

Ключевые слова: почва, эрозия, склон, комбинированная стокорегулирующая лесная полоса, низкорослый кустарник, снегоотложение, промерзание и влажность почвы, осадки, сток, водопоглощение.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН – FNFE-2022-0012 «Теоретические основы эрозионно-гидрологического процесса на водосборных бассейнах, концептуальные направления, пути и принципы создания высокоэффективных экологических систем управления этим процессом с целью полного предотвращения эрозии почв», FNFE-2022-0012-03 «Выявить закономерности влияния стокорегулирующих лесных полос с низкорослым кустарником на природные факторы стока в Центральном районе Нечерноземной зоны».

Поступила в редакцию: 23.08.2022

Принята к печати: 30.11.2022

Защитные лесные насаждения являются составной частью противоэрозионного комплекса, который разработан и внедрен в ОПХ Новосильской ЗАГЛОС. Под защитой лесных полос улучшается микроклимат полей, равномерно распределяется снег, на меньшую глубину промерзает почва, сокращается сток и смыв почвы. Всё это способствует сохранению почвенного плодородия и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Важнейшими задачами противоэрозионной агролесомелиорации являются: улучшение водного режима сельскохозяйственной территории и поддержание благоприятного увлажнения полей.

В настоящее время научные сотрудники опытной станции перешли на постановку стационарных, многолетних и многофакторных опытов по противоэрозионной тематике, которые позволяют получать наиболее полную и объективную оценку природных факторов [1, 2].

Согласно программе и методике научных исследу-

ований проводится работа по изучению влияния низкорослых кустарников в стокорегулирующей лесной полосе комбинированной конструкции на снегоотложение, промерзание и влажность почвы. От сложившихся погодных условий в холодный период зависит характер промерзания почвы. Низкорослыми кустарниками в стокорегулирующей лесной полосе можно управлять снегоотложением, что, в свою очередь, позволяет предохранить почву от глубокого промерзания. Для этого необходимо определить главные природные факторы, влияющие на эти процессы и дать им количественную оценку. Новизна научных исследований заключается в том, что на основе анализа природных факторов будут разработаны научные основы формирования эрозионно-гидрологического процесса и новые приёмы защиты почв от водной эрозии.

Цель научных исследований заключалась в выявлении закономерности снегоотложения на скло-

новых землях с низкорослым кустарником в комбинированной стокорегулирующей лесной полосе для управления эрозионно-гидрологическим процессом.

Теоретическая направленность заключается в том, чтобы разработать теорию формирования поверхностного стока талых вод при уровнях главных факторов: снегоотложение, промерзание и влажность почвы.

Материалы и методика исследований. Стационарный многофакторный научный опыт со стоковыми площадками закладывали на склоне

3-4°, экспозиция южная, расположение между суходолами Большие Зерёнки и ложиной Генералов Верх Новосильского района Орловской области. Крутизна склона составляет 3-4°. Почвы серые, лесные, средне- и сильноосмытые, смытость увеличивается сверху вниз по склону.

В нижней части опыта расположена 4-рядная лесная полоса 1960 года посадки. Схема посадки Б-Т-Б, размещение 2,5 × 1 м. В лесополосе опытного участка были проведены посадки низкорослого кустарника (рисунок 1).

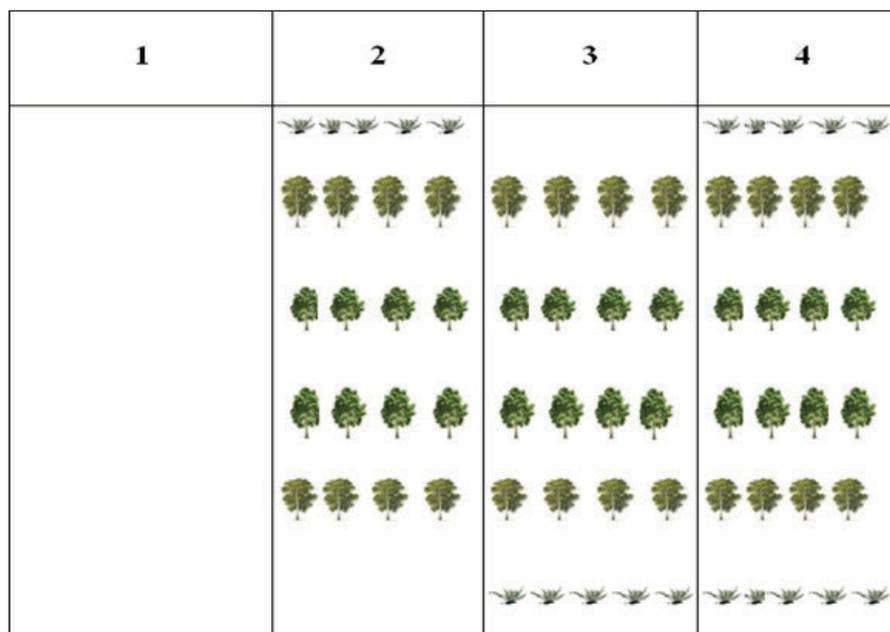


Рисунок 1. Схема расположения стоковых площадок

Изучение эффективности низкорослых кустарников в стокорегулирующей лесополосе комбинированной конструкции осуществлялось по схеме:

1. Зяблевая вспашка поперёк склона без лесной полосы (контроль).
2. Зяблевая вспашка поперёк склона + низкорослый кустарник по верхней опушке.
3. Зяблевая вспашка поперёк склона + низкорослый кустарник по нижней опушке.
4. Зяблевая вспашка поперёк склона + низкорослый кустарник по верхней и нижней опушкам.

Примечание. В 2019-2020 гг. на стоковых площадках агрофоном была зябь, а в 2021 г. – посев озимой пшеницы.

Для выполнения программных вопросов под руководством главного научного сотрудника ФНЦ агроэкологии РАН, заведующего лабораторией защиты почв от эрозии, доктора с.-х. наук А.Т. Барабанова, изучали снегоотложение, промерзание, влажность, оттаивание почвы, сток и смыв почвы. Перед снеготаянием высоту снежного покрова измеряли на стоковых площадках по двум снегомерным ходам в 3-кратной повторности. Математическую обработку данных по высоте снега за 3 года проводили согласно методике Б.А. Доспехова

[5]. Плотность снега определяли весовым снегомером ВС-43 на каждой стоковой площадке в 6-ти точках в 2-кратной повторности. Глубину промерзания почвы – по наличию кристаллов льда при бурении. Образцы почвы на влажность отбирали в 3-кратной повторности со следующих глубин: 0-3, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 см. Применяли термостатно-весовой метод. В период снеготаяния наблюдения за оттаиванием почвы проводили при помощи металлической шпильки в 5-кратной повторности в верхней, средней и нижней частях стоковых площадок.

Запасы воды в снеге Q (мм) вычисляли по формуле:

$$Q = 10 H d,$$

где H – высота снежного покрова, см;
 d – плотность снега г/см³.

В связи с тем, что поверхностный сток талых вод не сформировался, замеры воды на пороге водосливов не проводились. Научно-исследовательская работа выполнялась согласно программе и методике, методическим рекомендациям, указаниям и другим материалам [10,11,12,13,4,5,14,15,7,6].

В сточные годы на пороге водослива проводится замер воды линейкой с миллиметровыми де-

лениями через каждый час в дневное время. Слой стока определяли графоаналитическим методом. Для каждой стоковой площадки строили гидрографы стока. Подсчитывали сток за каждый день и за весь период наблюдений на всех стоковых площадках и вычисляли коэффициент стока.

Смыв почвы по твёрдому стоку учитывали путём отбора проб сточной воды на мутность. Пробы брали с момента появления мутной воды в мерный стакан ёмкостью 200 см³ через каждые 2 часа. Фильтрацию суспензии проводили в полевых условиях. Затем фильтры с осадками почвы высушивали до постоянного веса при температуре 105°C. Зная величину расхода объёма стока и его мутности, строили графики. На графиках подсчитывали площадь и вычисляли смыв почвы с каждой площадки и с одного гектара.

После прохождения поверхностного стока замеры смыва проводили по методу водороин: на каждой стоковой площадке поперёк склона прокладывали 3 профиля, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. На каждом профиле двумя мерными линейками измеряли глубину и ширину водороин с точностью до 1 мм. Величину смыва почвы по водороинам определяли по следующей формуле:

$$P = \frac{S \cdot 10000}{L}, \quad \text{где}$$

P – вынос почвы, м³/га;

S – суммарная площадь сечения, м²;

L – длина профиля, на котором проведён замер водороин, м.

При замерах водороин на профилях одновременно учитывали и наносы почвы, которые также выражали в м³/га. Самым распространённым методом определения почвенных потерь является метод, основанный на уравнении потери почвы [19]:

$A = 0,224RK(LS)CP$, где

A – потери почвы в кг/м²;

R – фактор эродирующей способности дождя;

K – фактор подверженности почв эрозии;

L – фактор длины склона;

S – фактор уклона;

C – фактор системы ведения растениеводства;

P – фактор борьбы с эрозией почв.

Факторы длины L и крутизны склона S часто рассматриваются как единый топографический фактор LS или «фактор рельефа».

Наблюдения за оттаиванием проводили на полевой части стоковых площадок перед и за лесной полосой при помощи металлической шпильки в период снеготаяния и прохождения стока талых вод в пятикратной повторности на верхней, средней и нижней частях стоковых площадок.

Математическое моделирование эрозионных процессов насчитывает десятки моделей, представленных в виде эрозионно-аккумулятивных процессов, основанных на различных подходах, т.е. общих и частных законах. Активность эрозии

определяется различными факторами: интенсивность поверхностного стока, податливость почвы размыву, рельеф местности и подстилающей породы. Широко применяются модели смыва и размыва почвы, где учитывают длину и крутизну склона, фактор рельефа. Объём исследований в данной области основан на теории взвесенесущих потоков. Длина склонов и крутизна их рассматривается как единый топографический фактор или «фактор рельефа». По материалам научных исследований Е.А. Гаршинёва, который долгое время работал на Новосильской ЗАГЛОС, фактор рельефа $I^m L^n$ (I – крутизна склона, L – длина склона) является значимым, объединяет в себе гидрологические и топографические характеристики [16, 17, 18].

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в период полевых наблюдений были разнообразны. 2018-2019 гг. По температурному режиму сентябрь 2018 г. оказался на 3,7°C выше нормы. Средняя температура воздуха за месяц составила 15,4°C. Сумма осадков равнялась 35 мм или 79,5% от многолетних значений. В октябре сумма осадков за месяц превысила норму на 109% (48 мм). А вот ноябрь оказался холоднее обычного. Среднемесячная температура воздуха – 1,9°C мороза. Осадков выпало мало – 8 мм или 21%. За осенний период средняя температура воздуха составила 7,0°C, что на 2,0°C выше средних величин. Осадков выпало меньше нормы – 91 мм (72,2%).

В декабре средняя температура воздуха была -5,5°C, что на 1,9°C теплее обычного. Осадков выпало 74 мм или 200% от месячной нормы. Почва под мощным покровом (25-35 см) начала оттаивать снизу. Промерзание почвы колебалось от 15 до 35 см. В январе происходило увеличение снежного покрова. Месячные осадки превысили норму и достигли 44 мм (137,5%). Температура воздуха в среднем за месяц была теплее на 2,6°C по сравнению со средними многолетними показателями. Февраль оказался на 7,5°C теплее обычного. Средняя месячная температура воздуха равнялась -1,9°C. Сумма осадков превысила норму на 3 мм и составила 34 мм. На 28 февраля средняя высота снежного покрова – 30-40 см, что выше средних многолетних значений. К этому времени промерзание почвы колебалось от 5 до 16 см. Наблюдались оттепели. Снег оседал и уплотнялся. В таких условиях под мощным снежным покровом продолжалось оттаивание почвы снизу. В целом зима была нехолодной, снежной. Осадки составили 152 мм (152%).

В зимний период направление ветров менялось в широких пределах. Однако, преобладал ветер восточной (В) четверти, скорость его равнялась в среднем 3-5 м/с, с порывами до 20 м/с. Также наблюдались ветра южного (Ю) и западно-(З) северо-западного (СЗ) направлений (рисунок 2).

Для анализа были взяты метеорологические данные по количеству, скорости и направлению метельных ветров за зимний период по данным метеостанции Мценск.

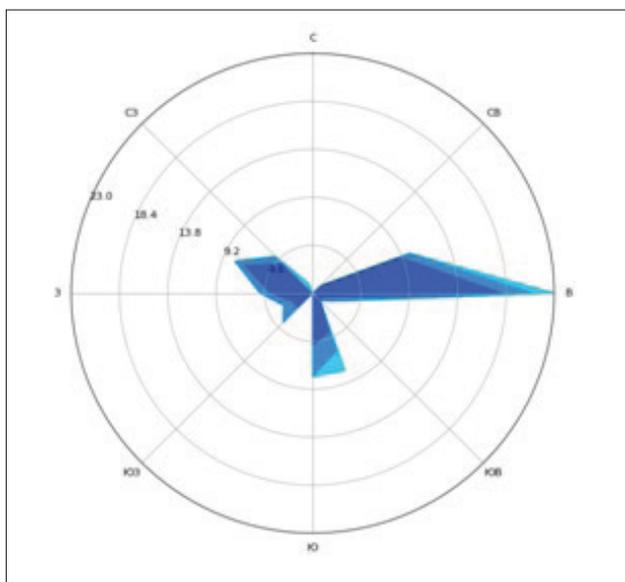


Рисунок 2. Вероятность появления метелей различных направлений, % (метеостанция Мценск, 2018-2019 гг.)

На основе результатов определены преобладающие направления, максимальные и средние скорости ветровых потоков, изучен характер метелей, их повторяемость. Для получения более точного результата за основу бралась 16-тирумбовая роза ветров. Метели учитывались при скорости ветра 3 и более м/с, исходя из того, что это минимальная скорость ветра, при которой начинается снегоперенос[6].

В начале марта потеплело. Среднесуточная температура воздуха выше 0°C установилась 8 марта. В первой декаде марта в ночные часы температура воздуха понижалась до отрицательных величин. 11 марта на полевых опытах провели снегомерную съемку. Средняя высота снега на стоковых площадках – 27-31 см. Плотность снега колебалась от 0,342 до 0,359 г/см³. Наибольшие запасы воды в снеге (109 мм) наблюдались на яблечной вспашке поперёк склона+ стокорегулирующая лесная полоса комбинированной конструкции с низкорослым кустарником по верхней и нижней опушкам (таблица).

Влажность, определённая перед снеготаянием, изменялась в значительной степени. На агрофонах более увлажнённым был слой 0-30 см. В слое 0-30 см влагозапасы на контроле в нижней части стоковой площадки на зяби составили 82,8 мм, а в нижней части с лесополосой – 105,9 мм, т.е. на 23,1 мм больше. Глубже 50-ти см происходило перераспределение влагозапасов в сторону уменьшения. Имеющиеся отклонения изменения влажности почвы зависели от наличия прослоек различного механического состава почвы.

Нами установлено отепляющее влияние снежного покрова, которое защищает почву от глубокого промерзания. Конечно, немаловажную роль играют сложившиеся погодные условия в холодный период и другие факторы. В исследуемом году промерзание почвы перед снеготаянием было неглу-

боким – до 10 см. Общие снегозапасы на контроле 107 мм, а на вариантах с лесной полосой – 113-127 мм. Снеготаяние проходило с 11 марта по 30 марта, т.е. 20 дней. Оно прерывалось ночными заморозками. Талая вода впитывалась в оттаявший слой почвы. Сток талых вод не сформировался. Водопоглощение на стоковых площадках зависело от снегозапасов и колебалось от 107 до 127 мм. Полученные данные приведены в таблице за 2019 год.

2019-2020 гидрологический год. В целом осень была на 2,6°C теплее. Сумма осадков –100 мм, то есть меньше средних многолетних величин на 20,7%. Декабрь оказался теплее обычного. Среднемесячная температура воздуха была 0,2°C. С 26 декабря слабозимняя погода, которая вызвала промерзание почвы до 1-4 см. Сумма осадков за месяц – 25 мм (67,5% от многолетних значений). В январе наблюдались частые оттепели, временами выпадали дожди, что вызывало таяние снежного покрова. Такие погодные условия способствовали оттаиванию почвы, и местами она оттаяла полностью. Сумма осадков за месяц достигла 34 мм, что составляет 106,2% от многолетней нормы. Февраль характеризовался тёплым температурным режимом. Средняя месячная температура воздуха составила -0,8°C. Осадки превысили норму и равнялись 60 мм. Следует особо отметить, что в начале третьей декады февраля, т.е. на 42 дня раньше климатических дат, произошёл переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения. Сохранялся высокий температурный режим. Среднесуточная температура воздуха была в пределах 0-3°C тепла. Лишь 24 февраля наблюдался слабый мороз 1°C. В дальнейшем в дневные часы температура воздуха была положительной. В зимний период преобладали ветры восточного (В) и южного (Ю), юго-восточного (ЮВ) и юго-западного (ЮЗ) направлений (рисунок 3). Средняя скорость ветра составляла 3-7 м/с, порывы до 20 м/с.

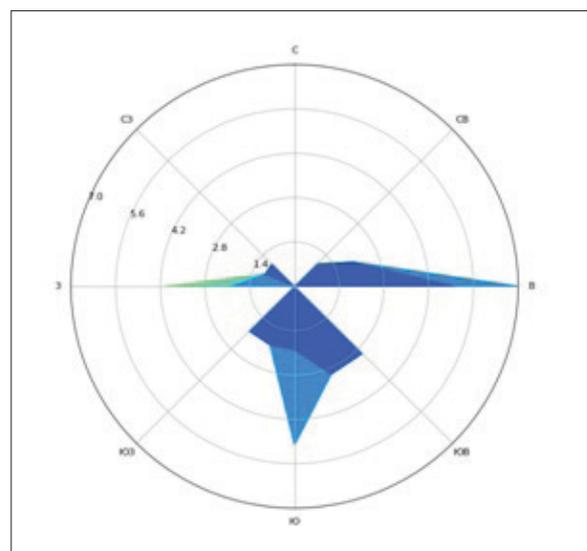


Рисунок 3. Вероятность появления метелей различных направлений, % (метеостанция Мценск, 2019-2020 гг.)

Зима была неустойчивая, с частыми и про-

должительными оттепелями. Образовавшийся небольшой снежный покров подтаивал, оседал, местами полностью разрушался. Зимняя температура воздуха превысила средние многолетние значения на 8,4°C. За зиму выпало 129 мм осадков, что составляет 129%. В течение зимы почва неоднократно оттаивала и замерзала.

В связи с потеплением 21 февраля на полевых опытах провели снегомерную съёмку. Средняя высота снега на зяби (контроль) наименьшая – 8 см, а на стоковых площадках с лесной полосой выше – 12-18 см. Плотность снега была в пределах от 0,342 до 0,365 г/см³. На варианте зяби со стокорегулирующей лесной полосой комбинированной конструкции и низкорослым кустарником по верхней и нижней опушкам запасы воды в снеге были наивысшие – 62 мм. Общие снегозапасы на контрольном варианте – 34 мм, а на других вариантах с лесной полосой произошло увеличение их от 47 до 67 мм. Из-за сложившихся тёплых погодных условий промерзание перед снеготаянием было слабое. Снеготаяние началось очень рано (22 февраля) и длилось до 1 марта. Оно прерывалось ночными заморозками. Днём снег постепенно таял и оседал. Осадков выпало мало. Четыре дня были с осадками в 1 мм и более. Сумма осадков составила 5 мм. В условиях повышенного температурного режима наблюдалось оттаивание почвы. На конец третьей декады февраля глубина промерзания почвы в ночные часы изменялась от 2 до 4 см. В течение дня верхний слой почвы вновь оттаивал. Талая вода впитывалась в почву. Ввиду неглубокого промерзания почвы стока талых вод не наблюдалось. На стоковой площадке водопоглощение на зяби без лесной полосы ниже, чем на других агрофонах на 13-34 мм. Отсюда следует, что при неглубоком промерзании почвы, независимо от снегозапасов и влагозапасов, стока не бывает.

Далее охарактеризуем 2020-2021 гидрологический год. Осень 2020 г. была теплее на 3,6°C по сравнению с многолетними данными. Продолжительность осеннего периода составила 66 дней. 11-13 ноября среднесуточная температура воздуха понизилась до отрицательных значений. Осадков выпало 124 мм или 98,4% от нормы. За зимний период средняя температура воздуха была -6°C, что на 2,1°C теплее от средних многолетних величин. Осадков выпало много – 174 мм, из них декабре – 39 мм, в январе – 72 мм и феврале – 63 мм. На конец февраля промерзание почвы неглубокое – 23-32 см.

В 2020-2021 гидрологическом году можно выделить три основных направления метельных ветров – восточно-северо-восточное (ВСВ), северо-западное (СЗ) и юго-юго-западное (ЮЮЗ) (см. рис.4).

В марте среднесуточная температура воздуха составила 1,9°C мороза, что на 2,5°C выше нормы. Сумма выпавших осадков за месяц равнялась 17 мм или 54,8% от средних многолетних величин. За март прошлого года осадков выпало на 2 мм

больше. В середине марта потеплело. 15 числа провели снегомерную съёмку перед снеготаянием.

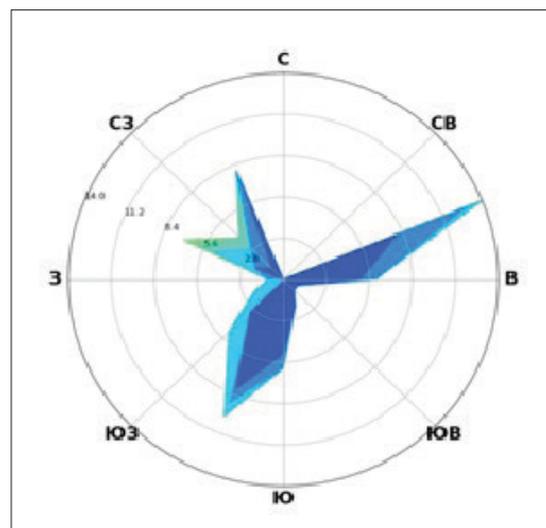


Рисунок 4. Вероятность появления метелей различных направлений, % (метеостанция Мценск, 2020-2021 гг.)

Высота снежного покрова на стоковых площадках колебалась от 18 см (контроль) до 24 см на агрофоне озимые посевы + лесная стокорегулирующая полоса комбинированной конструкции с низкорослым кустарником по верхней и нижней опушкам. Плотность снега – 0,296-0,370 г/см³. Снегозапасы на контроле равнялись 53 мм, а с лесной полосой и низкорослым кустарником были выше и достигли 69-89 мм. Глубина промерзания почвы на контроле без лесной полосы составила 46 см, а на других вариантах со стокорегулирующей лесной полосой произошло уменьшение промерзания почвы на 10-24 см. Неглубокое промерзание почвы повлияло на отсутствие поверхностного стока талых вод на всех стоковых площадках.

Перед началом снеготаяния показатели влажности и влагозапасов почвы изменялись в значительной степени. Слой почвы 0-30 см был наиболее увлажненным. Глубже 50-ти см происходило перераспределение влажности почвы и её варьирование. Изменения влажности почвы и влагозапасов связаны с пестротой литологического состава почвогрунтов.

Таяние снега длилось 19 дней с перерывами и закончилось 2 апреля. Почва к этому времени повсеместно была талая, что способствовало просачиванию талой воды в нижележащие горизонты. Водопоглощение на контроле – 63 мм, на других вариантах опыта со стокорегулирующей лесной полосой комбинированной конструкции и низкорослым кустарником произошло превышение его на 13-36 мм. Показатели водного баланса см. в табл.

Научные наблюдения показали очевидную роль основных природных факторов. При неглубоком промерзании почвы формирование поверхностного стока талых вод не происходит [8,3,9].

Таблица – Влияние различных агрофонов на снегоотложение, формирование весеннего стока талых вод и водопоглощение

Номера стоковых площадок	Высота снега, см	Плотность снега, г/см ³	Запасы воды в снеге, мм	Осадки за период снеготаяния, мм	Общие снегозапасы + осадки за период снеготаяния, мм	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток талых вод, мм	Водопоглощение, мм
2019 год								
№1 (контроль)	27	0,342	92	18	110	20	0	110,0
№2	27	0,353	95	18	113	20	0	113,0
№3	28	0,359	101	18	119	20	0	119,0
№4	31	0,350	109	18	127	20	0	127,0
2020 год								
№1 (контроль)	8	0,365	29	5	34	8	0	34,0
№2	12	0,351	42	5	47	8	0	47,0
№3	16	0,357	57	5	62	8	0	62,0
№4	18	0,342	62	5	67	8	0	67,0
2021 год								
№1 (контроль)	18	0,296	53	10	63	19	0	63,0
№2	19	0,367	70	10	80	19	0	80,0
№3	20	0,345	69	10	79	19	0	79,0
№4	24	0,370	89	10	99	19	0	99,0
Среднее за 3 года	21	0,349	72	11	83	17	0	83,0
НСР ₀₅	5,1							

Наблюдениями на стоковых площадках установлено, что природные факторы оказывают свое влияние на формирование поверхностного стока талых вод. Слабо промерзшая почва, независимо от увлажнения, обладает высокой впитывающей способностью, что вызывает поглощение всей талой воды в нижележащие горизонты. Неглубокое промерзание почвы (до 50 см) в течение трех лет способствовало просачиванию всей снеговой воды в почву (см. табл.). На всех агрофонах сток не сформировался. Продолжительность снеготаяния колебалась от 8 до 20 суток. За три года наблюдений средняя высота снега составила 21 см, плотность снега – 0,349 г/см³, запасы воды в снеге – 72 мм, водопоглощение – 83 мм.

Выводы.

1. За три года наблюдений (2019-2021 гг.) сложившиеся гидрометеорологические условия холодного периода способствовали слабому промерзанию почвы. На стационарном опыте промерзание почвы перед снеготаянием не превышало 50-ти см. Высота снежного покрова на стоковых площадках колебалась по годам: в 2019 г. – 27-31 см, в 2020 г. – 8-18 см, в 2021 г. – 18-24 см, снегозапасы составляли соответственно 92-109 мм, 29-62 мм, 53-89 мм. На вариантах со стокорегулирующей лесной полосой комбинированной конструкции с низкорослым кустарником запасы воды в снеге по

сравнению с контролем без лесной полосы были выше: в 2019 г. на 7-9 мм, в 2020 г. на 13-33 мм, в 2021 г. на 16-36 мм.

2. Перед началом весеннего снеготаяния верхний слой почвы (0-30 см) был наиболее увлажненным. Глубже происходило перераспределение влажности и влагозапасов почвы. Это связано с неоднородностью литологического состава почвы.

3. Следует отметить, что стокорегулирующая лесная полоса комбинированной конструкции с низкорослым кустарником способствует оптимизации снегоотложения, предотвращает глубокое промерзание почвы, повышает водопоглощение и улучшает влагообеспечение самой лесополосы.

4. Научные исследования показали, что неглубокое промерзание почвы, независимо от снегозапасов и влажности почвы, способствует неформированию весеннего стока талых вод. Зная закономерности главных природных факторов можно управлять эрозионно-гидрологическим процессом.

5. На основе анализа природных и антропогенных факторов эрозионно-гидрологического процесса будут выявлены закономерности снегоотложения в зоне влияния низкорослого кустарника в стокорегулирующей лесной полосе комбинированной конструкции при различном его размещении. Теоретические, методические и прикладные

исследования позволяют решать ряд важных практических задач, связанных с разработкой системы противоэрозионных мероприятий.

Литература:

1. Барабанов А.Т. Агроресомелиорация в почвозащитном земледелии. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1993. 155 с.
2. Барабанов А.Т., Петелько А.И., Левшин А.О. Влияние стокорегулирующих лесополос на снегоотложение // Природопользование в аграрных регионах России. М., 2006. С. 86-89.
3. Барабанов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград, 2017. 188 с.
4. Борец В.П., Зыков И.Г. и др. Методические рекомендации по защите почв от водной эрозии и рациональному использованию эродированных земель в Центральном районе Нечерноземной зоны РСФСР. – Волгоград, 1981. 51 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Колос, 1968. 335 с.
6. Дюнин А.К. В царстве снега. – М.: Наука, 1983. 161 с.
7. Захарченко Л.Я. Методика определения технологических функций земли в растениеводстве (практические рекомендации). – Курск, 1989. 50 с.
8. Зыков И.Г., Савичев В.Д. Методические указания по проведению почвенно-эрозионного обследования овражно-балочных земель для агроресомелиоративных целей. – Волгоград, 1981. 34 с.
9. Петелько А.И. Агроресомелиорация в адаптивно-ландшафтном земледелии в лесостепи Центрального Нечерноземья: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук. – Вол-

гоград, 2012. 39 с.

10. A.I.Petelko, A.T.Barabanov and Melihov Surface flow of melted water the central Russian upland (2022) 10P Conference Series: Earth and Environmental Science, 965(7), статья №1.2016. DOI:1088/1755-1315/965/1/012016

11. Сурмач Г.П. и др. Методика изучения водорегулирующей и противоэрозионной роли лесных полос и агротехнических приемов. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1967. 39 с.

12. Сурмач Г.П. и др. Рекомендации по защите почв от эрозии в Орловской области. – Орёл, 1973. 43 с.

13. Сурмач Г.П., Барабанов А.Т., Гаршинёв Е.А., Кузнецов А.П., Панов В.И. Изучение водопоглощающего и противоэрозионного влияния защитных лесонасаждений в комплексе с другими мероприятиями (методические рекомендации). – Москва, 1975. 96 с.

14. Сурмач Г.П. и др. Методические рекомендации по проведению агротехнических опытов на склонах. – М., 1978. 43 с.

15. Трегубов П.С., Брауде И.Д., Шурикова В.И. и др. Почвозащитное земледелие на склоновых землях Нечерноземной зоны РСФСР (рекомендации). – М.: Россельхозиздат, 1984. 39 с.

16. Хаширова Т.Ю., Апанасова З.В. Применение компьютерного моделирования в проблемах оценки экологического состояния природных ландшафтов // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6; URL: www.science-education.ru/120-15355 (дата обращения 03.04.2015).

17. Гаршинёв Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка, расчет и проектирование. – Волгоград, 2002. 220 с.

18. Эрозия почвы. Пер. с англ. и предисловие М.Ф. Пушкарева. М.: Колос, 1984. 415 с.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.009.58-65

Indicators of Water Balance at Various Agrobackgrounds in the Forest-Steppe Zone of the Non-Chernozem Region

Anatolij I. Petel'ko, D.S-Kh.N., Leader Researcher, ORCID: 0000-0002-7546-0410;

Anastasiya V. Vypova, Director, e-mail: vypova-av@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1910-9597 –

Novosil'skaya Zonal Agroforestral Experimental Station, branch of the Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences (FSC of agroecology RAS), e-mail: zaglos@mail.ru, 303035, Orel Region, Mtsensk, 2A Semashko St., Russia

Abstract. Observations of snow deposition, freezing and soil moisture, snowmelt and water absorption were carried out in a multifactorial stationary experiment on runoff sites. The purpose of the research was to develop a theory of the spring runoff formation at levels of natural factors above the limiting values, to study the patterns of snow deposition in a combined flow-regulating forest strip with low-growing shrubs and to prevent deep freezing of the soil. As a result of scientific research, the role of the main natural factors and their impact on the meltwater surface runoff formation has been revealed. It was found that with shallow freezing of the soil (up to 50 cm), spring runoff is not formed. During the three years of observations, the freezing of the soil was weak, which contributed to the gradual absorption of all meltwater into the soil. The water absorption in the control variants without a forest strip was smaller and varied from 34 to 110 mm, and in the winter tillage

agrobackgrounds with a forest strip and low-growing shrubs was higher by 17-36 mm. Soil erosion was not observed. The obtained research materials made it possible to identify the influence of the main natural and anthropogenic factors on the spring meltwater runoff formation. This makes it possible to develop new techniques for regulating snow deposition on slopes in runoff-regulating forest strips of combined construction with low-growing shrubs. This direction is relevant and is being held for the first time in our conditions. Knowing the patterns of erosion processes, the peculiarities of their manifestation, depending on the totality of determining natural factors is necessary for successfully soils protection from flushing and erosion.

Keywords: soil, erosion, slope, combined runoff-regulating forest strip, low-growing shrub, snow deposition, freezing and soil moisture, precipitation, runoff, water absorption

The work was carried out within the framework of the state task of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" – FNFE-2022-0012 "Theoretical foundations of the erosion-hydrological process in catchment basins, conceptual directions, ways and principles of creating highly efficient eco-friendly control systems for this process in order to completely prevent soil erosion", FNFE-2022-0012-03 "Identify patterns of flow-regulating forest strips with low-growing shrubs influence on natural factors of runoff in the Central area of the Non-Chernozem zone".

Received: 23.08.2022

Accepted: 30.11.2022

References:

1. Barabanov A.T. *Agrolesomelioratsiya v pochvo-zashchitnom zemledelii* [Agroforestry in soil protective agriculture]. Volgograd. VNIALMI. Publ. House. 1993. 155 p.
2. Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Levshin A.O. *Vliyaniye stokoreguliruyushchikh lesopolos na snegootlozhenie* [Influence of runoff-regulating forest belts on snow deposition]. *Prirodopol'zovanie v agrarnykh regionakh Rossii* [Nature management in agrarian regions of Russia]. Moscow. 2006. pp. 86-89.
3. Barabanov A.T. *Eroziionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeystviya prirodnykh i antropogennykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoye zemledelie* [Adaptive landscape agriculture and erosive-hydrological assessment of the natural and anthropogenic factors interaction in the meltwater surface runoff formation]. Volgograd. 2017. 188 p.
4. Borets V.P., Zykov I.G. et al. *Metodicheskie rekomendatsii po zashchite pochv ot vodnoy erozii i ratsional'nomu ispol'zovaniyu erodirovannykh zemel' v Tsentral'nom rajone Nechernozemnoy zony RSFSR* [Methodological recommendations on soil protection from water erosion and rational use of eroded lands in the Central region of the Non-Chernozem zone of the RSFSR]. Volgograd. 1981. 51 p.
5. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. M. «Kolos» Publ. house, 1968. 335 p.
6. Dyunin A.K. *V tsarstve snega* [In the Realm of Snow]. Moscow. «Nauka» Pul. House. 1983. 161 p.
7. Zakharchenko L.Ya. *Metodika opredeleniya tekhnologicheskikh funktsij zemli v rastenievodstve* [Methodology for determining the technological functions of the earth in crop production] (practical recommendations). Kursk. 1989. 50 p.
8. Zykov I.G., Savichev V.D. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu pochvenno-eroziionnogo obsledovaniya ovrazhno-balochnykh zemel' dlya agrolesomeliorativnykh tselej* [Methodological guidelines for carrying out a soil-
- erosion survey of ravine-balka lands for agroforestry purposes]. Volgograd. 1981. 34 p.
9. Petel'ko A.I. *Agrolesomelioratsiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii v lesostepi Tsentral'nogo Nechernozem'ya* [Agroforestry in adaptive landscape agriculture in the forest-steppe region of the Central Non-Chernozem region]: abstract of diss. ... of Doctor of Agricultural Sciences. Volgograd, 2012. 39 p.
10. A.I. Petelko, A.T. Barabanov and Melihov. Surface flow of melted water the central Russian upland (2022) 10P Conference Series: Earth and Environmental Science, 965(7), article №1. 2016. DOI:1088/1755-1315/965/1/012016
11. Surmach G.P. et al. *Metodika izucheniya vodoreguliruyushchey i protiverozionnoy roli lesnykh polos i agrotekhnicheskikh priemov* [Methodology for studying the water-regulating and anti-erosion role of forest strips and agrotechnical techniques]. Volgograd. VNIALMI Publ. house. 1967. 39 p.
12. Surmach G.P. et al. *Rekomendatsii po zashchite pochv ot erozii v Orlovskoy oblasti* [Recommendations for soil protection from erosion in the Oryol region]. Oryol. 1973. 43 p.
13. Surmach G.P., Barabanov A.T., Garshinyov E.A., Kuznetsov A.P., Panov V.I. *Izucheniye vodopogloshchayushchego i protiverozionnogo vliyaniya zashchitnykh lesonasazhdenij v komplekse s drugimi meropriyatiyami* [Study of water-absorbing and anti-erosion effects of protective forest plantations in combination with other measures] (methodological recommendations). Moscow. 1975. 96 c.
14. Surmach G.P. et al. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu agrotekhnicheskikh opytov na sklonakh* [Methodological recommendations for carryin gout agrotechnical experiments on slopes.]. Moscow. 1978. 43 p.
15. Tregubov P.S., Braude I.D., Shurikova V.I. et al. *Pochvozashchitnoye zemledelie na sklonovykh zemlyakh Nechernozemnoy zony RSFSR* [Soil-protective agriculture on the sloping lands of the Non-Chernozem zone of the RSFSR] (recommendations). Moscow. «Rossel'khozizdat» Publ. house. 1984. 39 p.
16. Khashirova T.Yu., Apanasova Z.V. *Primenenie komp'yuternogo modelirovaniya v problemakh otsenki ekologicheskogo sostoyaniya prirodnykh landshaftov* [Computer modeling applying in the problems of assessing the ecological state of natural landscapes]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2014. №6; URL: www.science-education.ru/120-15355 (access date: 03.04.2015).
17. Garshinyov E.A. *Eroziionno-gidrologicheskij protsess i lesomelioratsiya: Eksperimental'naya otsenka, raschet i proektirovanie* [Erosion-hydrological process and forest reclamation: Experimental assessment, calculation and engineering]. Volgograd. 2002. 220 p.
18. *Eroziya pochvy* [Soil erosion] Translation from English and foreword by M.F. Pushkarev. M. «Kolos» Publ. house. 1984. 415 p.

Цитирование. Петелько А.И., Выпова А.В. Показатели водного баланса на различных агрофонах в лесостепной зоне Нечерноземья // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 58-65. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.009.58-65

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Petel'ko A.I., Vypova A.V. Indicators of Water Balance at Various Agrobackgrounds in the Forest-Steppe Zone of the Non-Chernozem Region. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 58-65. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.009.58-65

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Геоинформационный анализ параметров сохранности защитных лесных насаждений Котельниковского района Волгоградской области

Вера Васильевна Балынова ✉, лаборант-исследователь, balinova-v@vfanc.ru, лаборатория геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

В статье представлены результаты геоинформационного анализа защитных лесных насаждений (ЗЛН) и сельскохозяйственных полей. Из-за неправильной посадки ЗЛН у полей недостаточная ветровая защищенность, что приводит к уменьшению и гибели урожая. Данное исследование направлено на анализ защитных лесных насаждений и выявление непригодных ЗЛН, работа была проделана с большим количеством ЗЛН и сельскохозяйственных полей для большей точности исследования. Описана методика картографирования лесных насаждений на основе полуавтоматической классификации данных ДЗЗ с последующей экспертной фильтрацией, а также способ исследования лесистости территории. Произведено электронное картографирование лесных насаждений в пределах Котельниковского района, составлена обзорная карта Котельниковского района, карта рельефа, классификации полей района, обеспеченности полей лесополосами, отбора лесных полос. Были использованы адекватные картографические способы анализа защитных насаждений. Результаты анализа актуальны для исследуемой территории, характеризующейся засушливым климатом и подверженностью ветровой эрозии. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей комплексной экологической оценки территории, при агролесомелиорации и других мероприятиях по борьбе с ветровой эрозией, а также при дальнейшей посадке защитных лесных насаждений.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование земли, геоинформационные системы, геоинформационное картографирование, лесные насаждения, цифровая модель рельефа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 122020100311-3 «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях», НИР № 122020100405-9 «Картографическое моделирование состояния, функционирования и динамики процессов опустыненных территорий с применением информационных технологий», НИР № 122020100406-6 «Теоретические основы и математико-картографические модели функционирования агролесомелиоративных систем в защите почв от дефляции».

Поступила в редакцию: 11.08.2022

Принята к печати: 07.12.2022

При исследовании крупных лесомелиоративных комплексов используют дистанционное зондирование Земли и геоинформационные системы. Все современные геоинформационные системы обладают базовым набором инструментов для обработки и различной интерпретации данных ДЗЗ. Использование спектрально-анализальных данных высокого пространственного разрешения позволяет проводить полный цикл обработки в геоинформационных системах в зависимости от целей и задач исследования. Картографическое моделирование в агролесомелиорации является одним из важных этапов при исследовании территории [2]. Так как лесные насаждения любого происхождения (естественного или искусственно-го) имеют дискретное распространение, создание различных картографических моделей позволяет анализировать характер их распределения, составлять различные прогнозные и инвентаризационные карты [1].

К основным картографическим моделям в лесомелиорации можно отнести модель ареалов, изо-

линейную (псевдоизолинейную) модель и регулярно-ячеистую модель [4,9].

Основным и самым информативным способом отображения и моделирования лесных насаждений разного происхождения является способ ареалов. Выделение ареалов лесных насаждений в зависимости от целей исследования и точности картографирования может производиться на основе экспертного дешифрирования, полуавтоматической и автоматической классификации данных ДЗЗ [3]. На основе ареалов с лесной растительностью могут составляться карты лесов, лесной промышленности, а также карты лесных хозяйств.

Цель исследования – с помощью геоинформационного анализа выявить степень сохранности защитных лесных насаждений на юге Волгоградской области, а также оценить эффективность их использования в качестве противозерозионной защиты сельскохозяйственных земель. Учитывая засушливость климата и подверженность земель Волгоградской области ветровой эрозии, результаты исследования могут быть полезны при про-

ведении противоэрозионных мероприятий.

Объекты и методы исследования. Для исследования физико-географических условий функционирования лесомелиоративных насаждений в агролесоландшафтах была выбрана территория Котельниковского района Волгоградской области. Котельниковский район граничит с двумя районами Волгоградской области, Октябрьским и Чернышковским районами. Административный центр района – город Котельниково. Общая площадь района – 3471,14 км² [6].

Полуавтоматическим методом было выделено 445 полигонов лесных полос. Чем больше требуемая точность картографирования, тем больше требуется квалификация специалиста-картографа. Экспертное дешифрирование лесных насаждений производилось с помощью данных дистанционного зондирования Земли высокого (10-30 метров) и сверхвысокого (менее 1 метра) пространственного разрешения на основе прямых и косвенных дешифровочных признаков. В качестве источника данных использовали бесплатно распространяющиеся растровые данные ДЗЗ в рамках проекта Copernicus (Sentinel-2), который имеет пространственное разрешение 10 и 30 метров. В качестве данных для определения фактического состояния ЗЛН были выбраны данные высокого пространственного разрешения со спутника Sentinel-2, сканер MSI, разрешение в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра – 10 м.

По состоянию на 2022 год, ближайшими данными для составления безоблачного композита являлись снимки от 25.05.2021 г., кодировка в системе Sentinel-2: T38UMU, T37UGP, T38TMT, T38TLT, и T38ULU [10].

Картографирование на основе сверхвысокого пространственного разрешения производили в рабочих масштабах крупнее 1:1000 [5].

К первичным базовым операциям при составлении картографических моделей в лесомелиорации можно отнести составление RGB-композитных изображений. Для создания композитных изображений в геоинформационных системах имеются встроенные функции объединения, создания композитного растра, наложения и иные инструменты. Большинство ГИС поддерживают постобработку созданного композита в соответствии с предпочтениями пользователя.

Создание RGB-композитного изображения, а также композитных изображений с другими комбинациями каналов позволяет выполнять базовые космофотокарты территории исследования, которые в дальнейшем могут использоваться как основа для проведения экспертного дешифрирования с последующим выделением ареалов необходимых пространственных объектов.

При работе с данными ДЗЗ экспертное дешифрирование на основе прямых и косвенных дешифровочных признаков не является единственным способом выделения необходимых пространственных объектов. При исследованиях региональ-

ного, районного или более мелкого масштабов целесообразнее использовать алгоритмы контролируемых и неконтролируемых классификаций данных ДЗЗ [8]. При однородной структуре исследуемых пространственных объектов (лесных насаждений) и относительно небольшой территории исследования отличным инструментом выделения будет являться алгоритм автоматической классификации без обучения k-means (к-средних) или ISODATA [9]. Одним из наиболее удобных инструментов для проведения полуавтоматической классификации данных ДЗЗ является модуль для QGIS: Semi-automatic classification plugin. Этот плагин позволяет производить весь спектр операций с данными ДЗЗ: обработку, анализ, классификацию. Функция preprocessing позволяет обрабатывать, калибровать, производить коррекцию атмосферных искажений, создавать композиты для дальнейшей классификации для следующих спутников и продуктов: ASTER, GOES, Landsat, MODIS, Sentinel-1 (radar), Sentinel-2, Sentinel-3 [7]. Функция bandprocessing проводит необходимые алгоритмы с обработанными данными в соответствии с задачами пользователя. Основными инструментами обработки является кластеризация и классификация. Классификация в SCP производится на основе обучения системы эталонам. Так называемые ROI (эталонные участки) выделяются пользователем и записываются в общую таблицу дальнейших классов. Чем больше эталонов для класса, тем больше точность дешифрирования. Опыт использования SCP показал, что при полуавтоматической классификации лесных насаждений разного характера существует определенная доля неточностей, исправить которые можно только методами экспертного дешифрирования на основе косвенных дешифровочных признаков. В качестве основного геоинформационного обеспечения использовалась бесплатная ГИС с открытым исходным кодом QGIS версии 3.

Результаты и обсуждения. Перед дешифрированием защитных лесных насаждений был получен снимок Sentinel-2 Котельниковского района, после чего полуавтоматическим методом были выделены лесные полосы [10]. Для полноты карты и исследования также были оцифрованы поля исследуемой территории. Количество оцифрованных защитных лесных насаждений в общей сумме составило 445, а количество полей – 1181 (рис. 1).

Следующим этапом работы было составление карт рельефа для последующего вычисления уклонов полей и их классификации. Для составления карты рельефа требовалась ЦМР района исследования высокого разрешения, которая имеется в общем доступе [10]. Следующим этапом было создание изолиний и подбор цветовой гаммы для ЦМР (рис. 2).

После составления карты рельефа нужно рассчитать уклоны рельефа для классификации полей Котельниковского района. Для расчета уклона полей использовались инструменты анализа. По-

сле подсчета крутизны рельефа была произведена классификация полей на дефляционно-опасные и эрозионно-опасные. В результате вычислений

была составлена карта классификации полей Котельниковского района по степени опасности дефляции пашен (рис. 3).

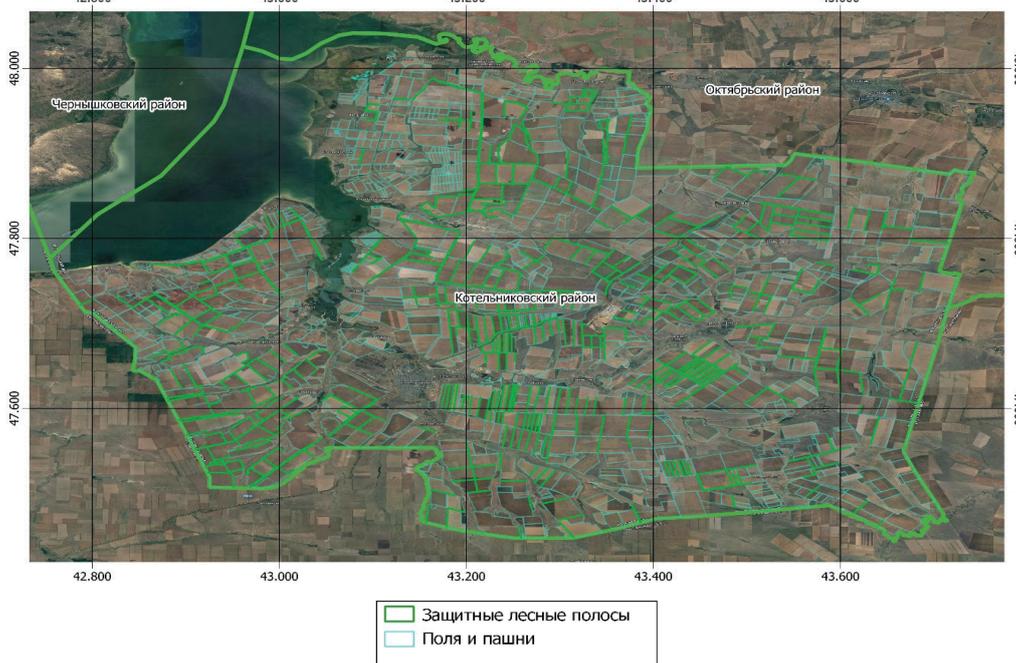


Рисунок 1. Обзорная карта Котельниковского района

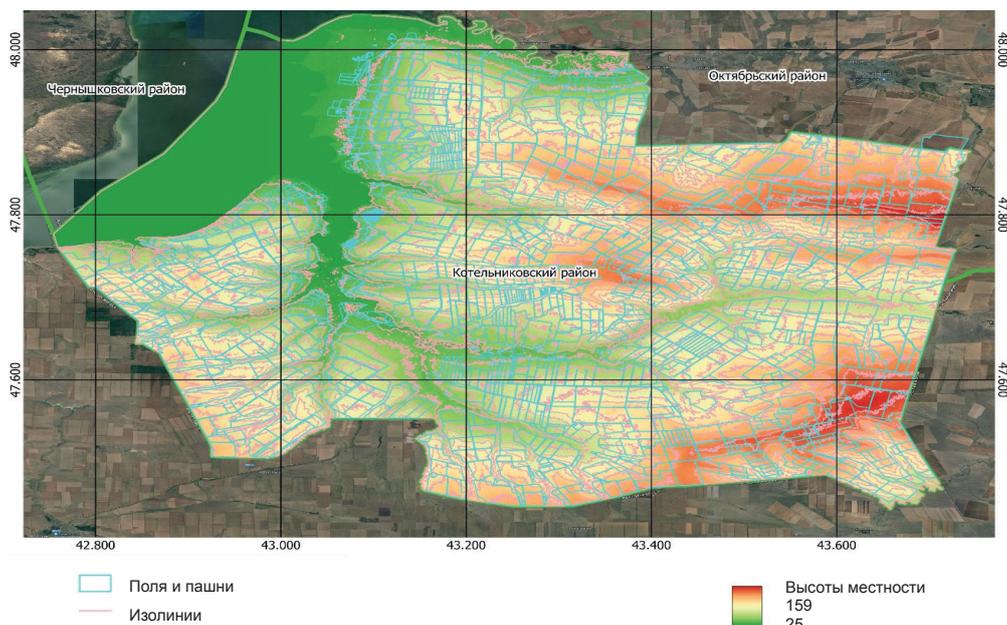


Рисунок 2. Карта рельефа исследуемой территории Котельниковского района

Далее была подсчитана площадь полей и лесных полос Котельниковского района. Площадь полей составила 205620 га, площадь лесополос – 4031,74 га.

Затем был построен буфер 150 метров вокруг полей для выявления полей без лесополос (рис. 4).

Для определения правильности расположения противодефляционных лесных полос дополнительно произведен анализ пространственного размещения относительно преобладающих ветров. На основе розы ветров Котельниковского района можно сделать вывод о том, что преобладающи-

ми являются ветры западной и восточной доли. Соответственно рекомендациям лесные полосы противодефляционного типа для большей эффективности должны быть расположены перпендикулярно преобладающему направлению ветра. С помощью геоинформационных систем пространственное положение для противодефляционных лесных полос может быть вычислено с помощью азимута. Однако механизм вычисления азимута в геоинформационной среде основывается на вычислении азимута между двумя точками.

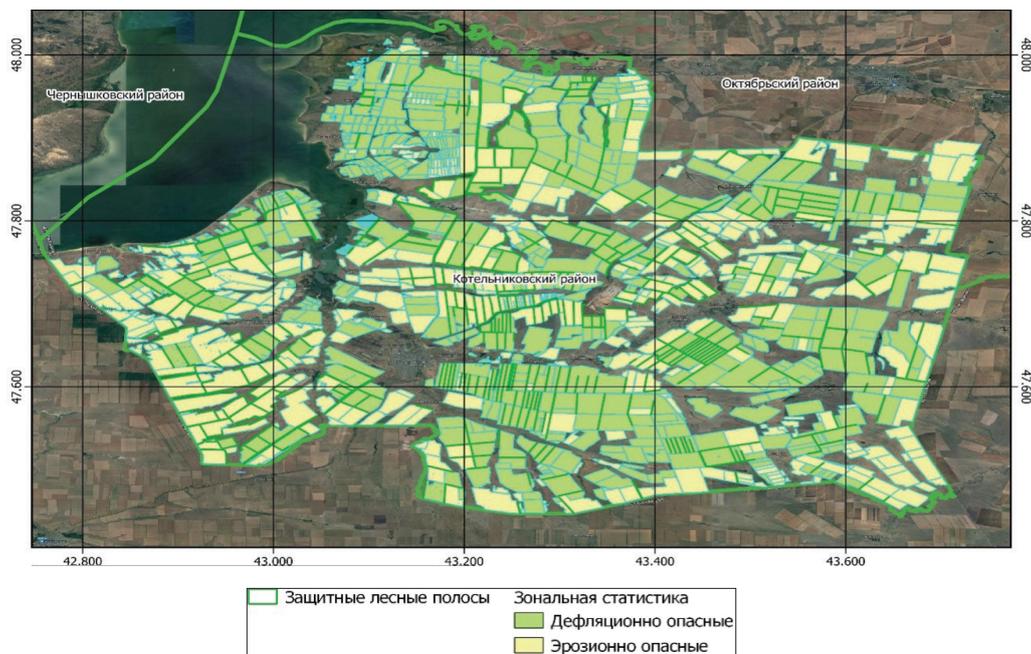


Рисунок 3. Карта классификации полей Котельниковского района по степени уклона рельефа

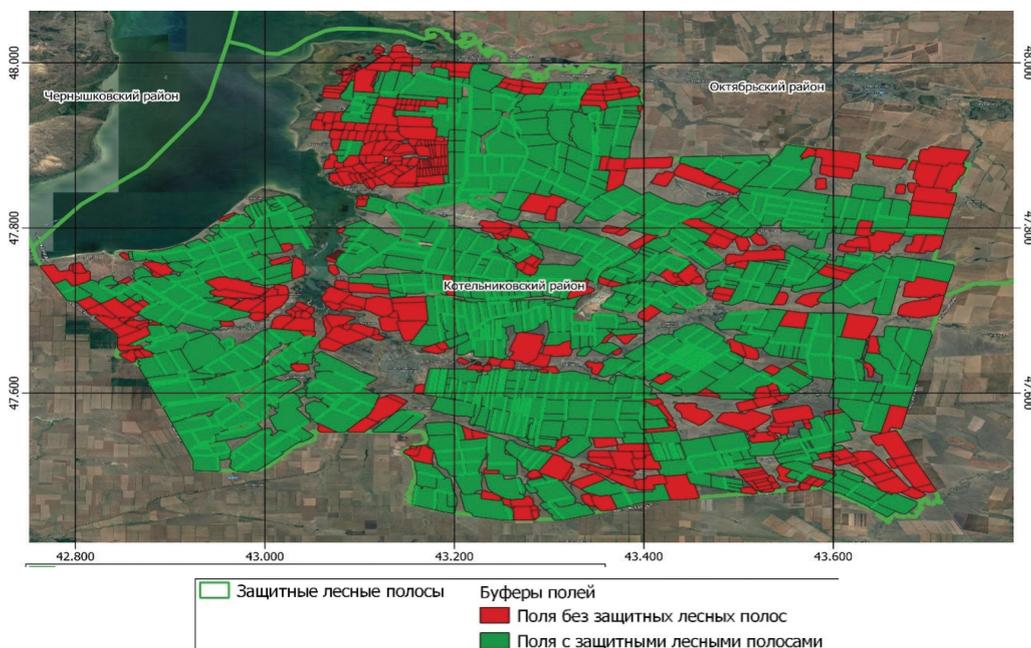


Рисунок 4. Карта обеспеченности полей на территории Котельниковского района лесополосами

Слой с лесными насаждениями является полигональным слоем, и применение базового алгоритма вычисления азимута к нему не подходит, потому что полигон может характеризоваться как минимум четырьмя пространственными определяющими. Для вычисления среднего угла наклона полигонов был использован метод вычисления тангенса. Для каждого объекта с помощью калькулятора полей были вычислены крайние точки по каждому направлению $(x/y(\max/\min))_{\$geometry}$.

Вычисление производилось в проекции WGS 84 UTM Zone 38N, поэтому значения координат были выражены в метрах. Использование метрических проекций очень важно при морфометрическом анализе. При использовании географических проекций, где в качестве системы исчисления используются градусы, минуты и секунды, автоматизиро-

ванный расчёт производится именно на их основе. Поэтому выходные данные получают со значительными искажениями.

Далее производился расчёт длины полигона в каждом направлении. Длина полигонов рассчитывается как разность между максимальной и минимальной координатой в каждом направлении. Расчёт максимальных и минимальных координат производился с помощью калькулятора полей и функций $x_{\max}(\min)$ и $y_{\max}(\min)$. После этого был рассчитан тангенс (как отношение прилежащей стороны к противолежащей) и соответственно переведен из радианов в градусы с помощью функции $degrees$. Впоследствии были отобраны лесополосы, расположенные правильно, и составлена карта расположения защитных лесополос (рисунок 5).



Рисунок 5. Карта расположения защитных лесных полос на территории Котельниковского района

Анализ защитных лесных насаждений исследуемой территории показал, что из 4031,74 га лесополос только 31 га лесных полос расположены неправильно относительно преобладающего направления ветра, то есть 95% лесонасаждений выполняют свою функцию по борьбе с ветровой эрозией сельскохозяйственных земель.

Анализ оснащённости полей лесополосами показал, что из 205620 га полей 20 % не имеют лесных полос. Из общей площади полей, необеспеченных лесополосами, 30 % являются эрозионноопасными (2056 га). Из общей площади полей Котельниковского района 70 % полей являются эрозионноопасными и при этом не имеют защитных лесонасаждений. Именно эти территории являются приоритетными при агролесомелиорации и планировании противоэрозионных мероприятий.

Заключение. Предложенная методика картографирования и исследования лесных насаждений является наиболее рациональной с точки зрения временных и трудовых затрат. Использование полуавтоматической контролируемой классификации данных или материалов ДЗЗ позволяет добиться максимальной точности картографирования при всех ее недостатках и артефактах. Решением проблемы неточностей может служить экспертное дешифрирование данных и фильтрация с попутным присваиванием атрибутов.

Установлено, что на территории исследования, в пределах Котельниковского района, наблюдается высокая противоэрозионная эффективность имеющихся лесных полос, однако их площади недостаточно для защиты всех полей. Некоторые эрозионноопасные участки вовсе лишены защитных лесополос и требуют проведения агролесомелиоративных мероприятий.

Данные, полученные в ходе исследования, могут использоваться для комплексной экологической оценки территории.

Литература:

1. Варданян С.А. Организационно-методическое обеспечение внутреннего аудита агрохолдингов. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет. 2021. 196 с.
2. Жирин В.М., Князева С.В. Оценка возможностей дешифрирования лесообразующих пород по космическим снимкам IKONOS / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 2. С. 373-379.
3. Иванов С.В., Кушнырь О.В., Рыбкин А.С. и др. Повышение эффективности управления землями лесного фонда на основе геоплатформенных решений и данных ДЗЗ / Сборник тезисов докладов шестнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 12–16 ноября 2018 года. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2018. С. 508.
4. Карпунин С.С., Киселев В.В., Свешников В.В. Картографическое обеспечение экологии и природоохранных мероприятий на основе использования данных дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. 1992. 4. С. 67-79.
5. Кошкин А.В., Мазун А.А., Вдовых П.Е. и др. Автоматизация процесса получения данных ДЗЗ европейской космической программы Sentinel // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2017. № 4(44). С. 90-96.
6. Лайкин В.И. Геоинформатика: учебное пособие. – Комсомольск-на-Амуре: АмГПУ, 2010. 159 с.
7. Федорчук С.А., Матвеев Ш. Опыт электронного картографирования лесных насаждений западных муниципальных районов Саратовской области // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 3-2(66). С. 76-80.
8. Федорчук С.А., Гушин В.А. Электронное картографирование лесистости Балашовского района Саратовской области // Заметки ученого. 2022. № 3-1. С. 69-74.
9. Юферев В.Г., Ткаченко Н.А. Картографирование и моделирование агроландшафтов с использованием геоинформационных систем // Научно-агрономический журнал. 2020. № 4(111). С. 23-28. DOI 10.34736/FNC.2020.111.4.005.23-28
10. EarthExplorer: [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 15.05.2022).

The Kotelnikovsky District of the Volgograd Region Protective Forest Plantations Preservation Parameters Geoinformation Analysis

Vera V. Balynova ✉, Laboratory Additnant-Researcher, balinova-v@vfanc.ru, laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes – Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. The article presents protective forest plantations (PFP) and agricultural fields geoinformation analysis results. Due to improper PFP planting, the fields have insufficient wind protection, which leads to a decrease and loss of the crop. This study is aimed at analyzing protective forest stands and identifying unsuitable PFP. The work was done with a large number of PFP and agricultural fields for greater accuracy of the study. The mapping forest stands method based on semi-automatic classification of remote sensing data with subsequent expert filtering, as well as a method for studying the forest cover of the territory are described. Electronic mapping of forest plantations within the Kotelnikovsky district was carried out, an overview maps of the Kotelnikovsky district, a relief map, classification map of the fields of the district, map of fields provision with forest belts, map of forest strips selection were compiled. Adequate cartographic methods of protective plantings analysis were used. The results of the analysis are relevant for the study area characterized by arid climate and exposure to wind erosion. The data obtained can be used for further comprehensive environmental assessment of the territory, for agroforestry and other measures to combat wind erosion, as well as for further planting of protective forest plantations.

Keywords: remote sensing of the earth, geoinformation systems, geoinformation mapping, forest plantations, digital terrain model

Received: 11.08.2022 Accepted: 07.12.2022

References:

1. Vardanyan S.A. *Organizatsionno-metodicheskoe obespechenie vnutrennego audita agrokholdingov* [Organizational and methodological support of agricultural holdings internal audit]. Volgograd. Volgograd SAU Publ. house. 2021. 196 p.
2. Zhirin V.M., Knyazeva S.V. *Otsenka vozmozhnostej deshifirovaniya lesoobrazuyushchikh porod po kosmicheskim snimkam IKONOS* [The decoding forest-forming rocks from IKONOS satellite images possibilities assessment]. Contemporary problems of remotesensing of the Earth from space. 2009. T. 6. 2. pp. 373-379.
3. Ivanov S.V., Kushnyr' O.V., Rybkin A.S. et al. *Povyshenie*

effektivnosti upravleniya zemlyami lesnogo fonda na osnove geoplatformennykh reshenij i dannykh DZZ [Improving the efficiency of forest fund land management based on geoplatform solutions and remote sensing data]. Contemporary problems of remotesensing of the Earth from space: Compilation of abstracts of reports of the Sixteenth All-Russian Open Conference. Moscow. Space Research Institute Publ. house, 2018. p. 508.

4. Karpukhin S.S., Kiselev V.V., Sveshnikov V.V. *Kartograficheskoe obespechenie ekologii i prirodookhrannykh meropriyatij na osnove ispol'zovaniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Cartographic support of ecology and environmental protection measures based on the use of Earth remote sensing data]. *Geodesy and cartography*. 1992. 4. pp. 67-79.

5. Koshkin A.V., Mazun A.A., Vdovykh P.E. et al. *Avtomatizatsiya protsessa polucheniya dannykh DZZ evropejskoj kosmicheskoy programmy Sentinel* [Remote sensing data of the European space program Sentinel obtaining process automation]. *Molodezhnyj nauchnyj forum: tekhnicheskie i matematicheskie nauki* [Youth Scientific Forum: technical and Mathematical Sciences]. 2017. 4(44). pp. 90-96.

6. Lajkin V.I. *Geoinformatika* [Geoinformatics]: a textbook. Komsomolsk-on-Amur. ASUHPubl. house, 2010. 159 p.

7. Fedorchuk S.A., Matveev Sh. *Opyt elektronnoogo kartografirovaniya lesnykh nasazhdenij zapadnykh munitsipal'nykh rajonov Saratovskoj oblasti* [Forest plantations in the western municipal districts of the Saratov region electronic mapping experience]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences]. 2022. 3-2(66). pp. 76-80.

8. Fedorchuk S.A., Gushchin V.A. *Elektronnoe kartografirovanie lesistosti Balashovskogo rajona Saratovskoj oblasti* [Balashovsky district of the Saratov region forest cover electronic mapping]. *Zametki uchenogo* [Notes of the scientist]. 2022. 3-1. pp. 69-74.

9. Yuferev V.G., Tkachenko N.A. *Kartografirovanie i modelirovanie agrolandshaftov s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh sistem* [Mapping and modeling of agricultural landscapes using geoinformation systems]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal* [Scientific Agronomy Journal]. 2020. 4(111). pp. 23-28. DOI 10.34736/FNC.2020.111.4.005.23-28

10. EarthExplorer: [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 15.05.2022).

Цитирование. Балынова В.В. Геоинформационный анализ параметров сохранности защитных лесных насаждений Котельниковского района Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 66-71. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.010.66-71

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Balynova V.V. The Kotelnikovsky District of the Volgograd Region Protective Forest Plantations Preservation Parameters Geoinformation Analysis. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 66-71. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.010.66-71

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Author declare no conflict of interest.

Эффективность полимерных и мульчирующих материалов при создании селекционных плантаций дуба в сухой степи

Сергей Николаевич Крючков¹, д.с.-х.н., г.н.с., ORCID 0000-0001-8338-6460;

Андрей Валерьевич Солонкин¹, д.с.-х.н., г.н.с., ORCID 0000-0002-1576-7824;

Александр Петрович Иозус², к.с.-х.н., с.н.с.;

Александра Сергеевна Соломенцева^{✉1}, solomencevaa@vfanc.ru, к.с.-х.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-5857-1004;

Сергей Анатольевич Егоров¹, м.н.с., ORCID 0000-0001-8234-7355 –

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

²Камышинский технологический институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», ttp@kti.ru, 403874, ул. Ленина, 6А, г. Камышин, Россия

В статье приводятся результаты выращивания сортообразцов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в селекционной лесосеменной плантации, созданной путем посева желудей от отселектированных (плюсовых) деревьев. Подготовленный участок площадью 3,5 га расположен в Городищенском участковом лесничестве (Кировском участке) Волгоградской области. Проблемой является отсутствие орошения и возможности получения дополнительной влаги в экстремально засушливых условиях полупустынного Поволжья. Посаженные дубы засыхают, так как поливы не дают положительного эффекта. Впервые были испытаны сильно набухающие полимерные гидрогели (СПГ), мульчирующая водопроницаемая пленка «Санбелт» и гильзы из пластиковых труб (ПТ) для создания микроклимата на ранних стадиях развития всходов. В исключительно засушливом 2016 году новая оригинальная технология обеспечила 100% сохранности посевов дуба и оказала положительное влияние на рост, развитие и накопление фитомассы семян дуба в последующие годы. Констатируется, что использование СПГ и мульчирующих материалов исключает проведение ручных и механизированных уходов за дубами в лесосеменной плантации, позволяет подавлять сорняки. Данный прием улучшает водно-физические свойства песчаных и тяжелосуглинистых почв, накапливая влагу при незначительном количестве осадков и постепенно отдавая ее растениям. В материалах исследования показано действие полимерных материалов на почвенную экологию, водный режим, рост и развитие растений. Даны предложения по технологии их использования в условиях сухой степи.

Ключевые слова: полимеры, лесосеменная плантация, гидрогели, пластиковые трубки, мульчирующие пленки, гербициды, желуды, дуб черешчатый, семена дуба, плюсовые деревья.

Работа выполнена в рамках задания № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Поступила в редакцию: 28.09.2022

Принята к печати: 09.12.2022

За последние 30 лет синтезирован новый класс материалов – сильнонабухающие полимерные гидрогели (СПГ), обладающие способностью поглощать и удерживать в набухом состоянии огромное количество влаги. Это ключевое качество СПГ открывает неограниченные возможности их использования в сельском и лесном хозяйстве [1, 3, 8, 9, 13].

По сообщениям отечественных и зарубежных исследователей, работы по изучению гидрогелей ведутся по многим направлениям [6, 7, 10, 14].

При создании защитных лесных культур (ЗЛН) и лесосеменных плантаций (ЛСП) на крайнем юго-востоке ЕТР серьёзной проблемой является неблагоприятный водный режим почвогрунтов, что значительно снижает эффект агролесомелиоративных работ. Одним из перспективных путей решения задачи может быть использование гидро-

гелей как аккумуляторов влаги осадков в течение всего года [2, 4, 5].

Другая не менее важная проблема лесомелиорации – борьба с сорняками, конкурентами древесных пород, за влагу и элементы питания. В дополнение к химическим методам борьбы использование чёрной водопроницаемой мульчирующей плёнки, не позволяющей развиваться сорной растительности в течение 8-10 лет, даёт возможность уменьшить негативные последствия от появления сорных растений, а применение гильз из пластиковых трубок – создать микроклимат на ранних стадиях развития древесных растений [12].

Цель исследования – изучить эффективность полимерных и мульчирующих материалов при создании селекционных плантаций дуба в сухой степи посевом желудей на светло-каштановых солон-

цеватых почвах в условиях г. Волгограда.

Материалы и методы исследования. Опыт по использованию полимерных материалов был заложен весной 2016 г. в условиях сухой степи Волгоградской области при создании лесосеменной плантации из лучших биотипов дуба согласно ЛК РФ (ст. 65 «Лесное семеноводство») и ФЗ от 17 декабря 1997 года № 149-ФЗ «О семеноводстве», а также правилам создания и выделения объектов лесного семеноводства, утвержденным приказом Минприроды Российской Федерации от 20 октября 2015 года № 438.

Для закладки ЛСП из дуба в Городищенском участковом лесничестве (Кировском участке) подобран участок, который с трёх сторон защищён лесными насаждениями. Почва светло-каштановая, суглинистая с содержанием гумуса 1...2 %.

Почву под ЛСП готовили по системе чёрного пара. Перед посевом желудей проведена культивация с боронованием и разбивка площади.

Семенную плантацию закладывали посевом желудей с 50-ти плюсовых деревьев дуба, отобранных в естественных насаждениях Волгоградской области (рисунок 1).

Посев желудей вели по следующим вариантам: I – гильзы из пластиковых труб из поливинилхлорида (ПВХ), (Пт) + гидрогель (Г) + гербицид «Глифосат» 4 л/га (Гб);

II – гильзы из пластиковых труб + гидрогель + плёнка (Пл);

III – гильзы из пластиковых труб + гидрогель;

IV – гильзы из пластиковых труб + плёнка;

V – гильзы из пластиковых труб;

VI – гидрогель + плёнка;

VII – плёнка;

VIII – контроль (без применения полимеров).

При прямом посеве желудей на постоянное место их закапывали в почву на глубину 5-10 сантиметров, посева регулярно пропалывали, рыхлили почву, между строчками почву рыхлили культиваторами ККП-1,5 или КМС-1 на глубину 2-3 см, а в межленточных междурядьях – культиваторами КОН-2,8, КРН-2,8 или КСР-2.

Измерения приростов выполняли у 100 сеянцев с помощью рулетки. Влажность почвы определялась термовесовым методом. Запасы влаги в почве определяли по формуле 1:

$$W = 0,1 * qh (u - k), \quad (1)$$

где W – запасы продуктивной влаги, мм в.с.;

q – масса 1 см³ почвы, г;

h – мощность горизонта, или слоя почвы, см;

k – влажность устойчивого завядания, %;

0,1 – мм водного столба, коэффициент перевода, соответствующий запасу воды 1 м/га.

Водный дефицит листьев и их водоудерживающую способность определяли с помощью метода насыщения. С целью определения общей оводненности листьев образцы высушивали при температуре 105 °С до тех пор, пока их масса не становилась постоянной. Навеска растительного материала со-

ставляла 3-5 г, повторность трехкратная.

Общее количество воды (P) в % от сырого веса навески рассчитывали по формуле 2:

$$P = \frac{100 * (b - e)}{(b - a)}, \quad (2)$$

где a – вес бьюкса, г;

b – вес бьюкса с сырой навеской, г;

e – вес бьюкса с сухой навеской, г

Для оценки состояния использовали оригинальную классификацию роста и развития: 1 – внешне здоровое; 1,5 – с признаками ослабления и регенерации кроны; 2 – с признаками ослабления без признаков регенерации; 2,5 – ослабленное с признаками регенерации кроны; 3 – ослабленное без признаков регенерации; 4 – усыхающее; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой.

Для накопления и сохранения влаги на вариантах I, II, III, IV в площадки размером 0,5 × 0,5 м в 0...30 см слой почвы до посева вносили сухие гранулы гидрогеля «Гидросорца» из расчёта 100 г/м². Для подавления роста сорняков в площадках на вариантах II, IV, VI и VII использовали чёрную мульчирующую плёнку «Санбелт». Плёнкой размером 0,6 × 0,6 м покрывали площадку. На плёнке делали крестообразные отверстия для высева желудей. Края плёнки присыпали землёй. Для создания микроклимата на ранних стадиях развития сеянцев дуба на вариантах I, II, III, IV и V использовали гильзы из пластиковых труб (Пт) диаметром около 10 см и высотой 20...30 см.

При составлении схемы смешения биотипов дуба учтена пространственная изоляция между растениями одной семьи. Смешение семей проводили в соответствии с намеченной схемой. На маркировочных кольцах указывали номер семьи. В каждое намеченное место высевали по 3 наклюнувшихся жёлудя. Схема посева 5×10 м. Между рядами дуба высаживали сеянцы вишни войлочной [11].

Уход за ЛСП включал периодическую культивацию междурядий в двух направлениях. Прополку сорняков и рыхление почвы в площадках проводили на вариантах III, V, VIII вручную, на варианте I уничтожали гербицидом «Глифосат».

На лесосеменной плантации в напряжённый период вегетации лета 2016 г. определяли влажность 0...50 см слоя почвы на приствольных площадках, вели наблюдения за микроклиматом в гильзах из пластиковых труб и открытом пространстве, изучали водный режим, рост и состояние однолетних сеянцев дуба. В 2017 г. изучали влияние пластиковых трубок и плёнки на весеннее развёртывание листьев и дальнейший рост и развитие молодых сеянцев дуба. Статистическая обработка данных велась в программах Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований показали, что использование пластиковых трубок позволяет в период вегетации создать тепличный эффект для роста и развития молодых посевов дуба: повысить на 1...2 °С температуру и 8...11 % относительную влажность воздуха (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение микроклимата и влажности почвы под влиянием полимерных материалов на ЛСП дуба *

Вариант	Микроклимат 9.VIII.2016 г. в 11 ч.		Влажность почвы (% на абсолютно сухой вес) на глубине					
	температура воздуха, °С	относительная влажность воздуха, %	0 - 10 см	10 - 20 см	20 - 30 см	30 - 40 см	40 - 50 см	0...50 см
I. Пт + Г + Гб	37,1	46,3	7,19±2,10	12,63±2,29	13,34±2,24	14,63±4,28	15,24±3,68	12,61±2,55
II. Пт + Г + Пл	37,8	49,5	8,63±1,17	13,66±1,16	15,16±3,15	15,61±3,18	15,38±4,12	13,69±2,48
III. Пт + Г	37,1	46,0	5,38±0,06	13,45±2,02	14,82±2,56	14,79±2,08	14,43±2,14	12,57±1,78
IV. Пт + Пл	37,2	48,6	10,99±2,17	11,84±1,45	12,77±2,67	12,40±2,21	14,80±1,87	12,56±2,42
V. Пт	36,9	45,6	8,08±2,01	9,75±2,34	10,15±2,17	9,89±1,25	8,92±1,12	9,36±1,67
VI. Г + Пл	36,2	40,3	8,37±1,15	11,48±2,00	11,68±1,66	13,17±3,12	14,86±2,54	11,91±2,51
VII. Пл	35,9	39,2	3,88±1,11	10,79±1,67	11,29±1,89	12,70±2,02	14,63±3,01	10,66±2,55
Контроль	35,7	38,3	2,88±0,05	9,43±1,34	11,12±2,23	10,45±1,59	10,48±2,77	8,87±1,25

*Примечание: Пт – гильзы из пластиковых труб; Г – гидрогель «Гидросоурц»; Пл – плёнка мульчирующая «Санбелт»; Гб – гербицид

Внесение в корнеобитаемый слой почвы гидрогелей из расчёта 100 г/м² с последующим покрытием приствольных площадок чёрной влагопроницаемой плёнкой «Санбелт» способствует накоплению в почве влаги осадков, предотвращает рост сорняков, снижает физическое испа-

рение, на 20...50 % повышает влажность почвы. При мульчировании плёнкой в присутствии гидрогелей в почве дольше сохраняется влага, что положительно влияет на физиологическое состояние, рост и развитие молодых сеянцев дуба (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние полимерных материалов на водный режим биотипов дуба на ЛСП (29.VII.2016 г.) *

Вариант	Оводнённость листьев, % к сырой массе			Интенсивность транспирации, мг/г в час			Водоудерживающая способность, % оставшейся через 4 часа после подсушивания		
	9 час	12 час	9...12 час	9 час	12 час	9...12 час	9 час	12 час	9...12 час
I. Пт + Г + Гб	58,1±9,13	60,0±9,01	59,0±7,65	770	678	724	8,3±2,65	8,2±1,36	8,3±1,01
II. Пт + Г + Пл	58,5±8,44	59,2±8,67	58,9±9,13	992	913	952	7,6±1,18	7,4±0,99	7,5±1,14
III. Пт + Г	57,6±5,31	58,3±6,91	58,0±9,25	728	635	681	8,3±1,45	10,6±1,13	9,4±1,29
IV. Пт + Пл	57,8±6,59	58,8±7,22	58,3±8,14	876	758	817	8,4±1,87	9,2±1,84	8,8±1,43
V. Пт	57,3±7,84	58,1±6,54	57,7±7,81	634	550	592	10,5±1,33	11,2±1,60	10,8±1,30
VI. Г + Пл	56,8±6,55	57,4±7,18	57,1±8,19	617	512	565	11,0±1,34	12,3±1,56	11,6±2,14
VII. Пл	56,2±6,21	57,1±8,02	56,6±7,32	585	491	538	11,7±1,48	13,0±1,63	12,3±1,92
VIII. Контроль	54,6±8,52	56,4±8,38	55,5±6,70	509	358	434	13,3±1,51	15,9±2,12	14,6±2,00

*Примечание: в 9 час t = 34,0 °С; относительная влажность воздуха 46,8 %; в 12 час t = 36,4 °С; относительная влажность воздуха 45,8 %)

В ограниченном пространстве пластиковых трубок за счёт высокого содержания водяных паров в воздухе в процессе водообмена у молодых сеянцев на 2...3,5 % повышается оводнённость листьев, в

полуденные часы наблюдается незначительное падение интенсивности транспирации, в результате чего листья не повреждаются действием высоких температур и засухи.

Все листья сеянцев дуба, произрастающие на контроле, окружены сухим горячим воздухом. При недостатке влаги в почве и снижении интенсивности транспирации на контроле отдельные листья

сильно повреждаются высокими температурами, буреют и гибнут, в результате чего снижается сохранность и прирост сеянцев дуба (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние полимеров на рост, развитие и состояние биотипов дуба на ЛСП в 2016 г.

Вариант	Сохранность, %	Состояние, балл	Высота однолетних сеянцев дуба, см	Диаметр основания стволика, мм	Количество приростов, шт.	Количество листьев на стволике, см	Площадь листовой пластинки, см ²
I. Пт + Г + Гб	100	4,9	15,7±3,47	4,0±0,04	2	13±2,87	11,8±0,93
II. Пт + Г + Пл	100	5,0	17,2±4,28	4,2±0,02	2	15±3,68	12,4±1,34
III. Пт + Г	100	4,9	15,7±4,39	4,0±0,02	2	13±3,02	11,5±1,28
IV. Пт + Пл	100	5,0	17,0±5,02	4,1±0,02	2	14±3,55	12,0±1,41
V. Пт	100	4,8	16,4±4,28	4,1±0,01	2	13±2,11	11,3±1,56
VI. Г + Пл	100	4,4	11,3±3,12	3,3±0,02	1...2	9±1,97	10,0±1,73
VII. Пл	100	4,3	10,3±1,33	3,0±0,02	1	9±1,16	7,2±1,58
VIII. Контроль	90	3,2	7,8±0,95	2,3±0,03	1	7±1,23	5,9±0,55

Молодые сеянцы дуба, растущие в гильзах из пластиковых труб, характеризуются большим количеством листьев и хорошо развитой листовой пластинкой. Несмотря на глубокую почвенную засуху и высокие температуры воздуха большинство сеянцев дуба в гильзах из пластиковых труб за период вегетации 2016 г. дали по два прироста в высоту. На таком благоприятном экологическом фоне молодые сеянцы дуба к концу вегетации полностью сохранились (100 %), по своему росту и

развитию в два раза превышали посеvy дуба, произрастающие на контроле.

Весной 2017 г. основное внимание привлекла разница в сроках начала вегетации у молодых сеянцев дуба, произрастающих на различном экологическом фоне. О сроках начала развёртывания листьев у семенного потомства плюсовых деревьев дуба под влиянием полимеров можно судить по результатам, представленным в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние полимерных материалов на изменение суммы среднесуточных температур, необходимых для развёртывания листьев дуба (весна 2017 г.)

Вариант	Дата весеннего перехода через:		Дата развёртывания листьев	Сумма среднесуточных температур до развёртывания листьев, °C	
	0°C	5°C		положительных	эффективных
I. Пт + Г + Гб	13.III	28.III	13.IV...20.IV	237	205
II. Пт + Г + Пл	12.III	27.III	12.IV...19.IV	232	200
III. Пт + Г	13.III	28.III	13.IV...20.IV	237	205
IV. Пт + Пл	12.III	27.III	12.IV...19.IV	233	201
V. Пт	14.III	29.III	14.IV...21.IV	240	208
VI. Г + Пл	17.III	1.IV	17.IV...24.IV	248	216
VII. Пл	17.III	2.IV	18.IV...25.IV	250	218
VIII. Контроль	18.III	3.IV	19.IV...26.IV	253	221

Анализ сложившихся погодных условий весны 2017 г. показал, что решающее влияние на развёртывание листьев дуба оказывает температура окружающего воздуха. Благодаря тёплой погоде

во второй и третьей декаде апреля развёртывание листьев у большинства биотипов дуба проходило в течение 7 дней.

Сеянцы дуба, произрастающие в гильзах из

пластиковых труб, приступали к развёртыванию листьев в более ранние сроки. Развёртывание листьев в замкнутом пространстве пластиковых трубок начинается 12...14 апреля, а у сеянцев дуба, произрастающих в открытом грунте, – на 5...7 дней позже.

В таблице 5 приведены суммы положительных средних суточных температур воздуха, высчитанных от даты устойчивой величины перехода температуры воздуха через 0 °С до даты начала развёртывания листьев и суммы эффективных температур воздуха, высчитанных от даты устойчивого перехода через 5 °С. Для начала листораспускания сеянцам дуба, произрастающим в открытом грунте, требуются суммы положительных и эффективных температур на 16...21 °С больше, чем сеянцам дуба под гильзами из пластиковых труб. Среднесуточное превышение температур под гильзами из пластиковых труб по сравнению с открытым грунтом в весенний период достигало +2...+3 °С (при сравнении приведённых данных с

суммами температур, необходимых для развёртывания листьев).

По различным способам выращивания сеянцев дуба видно, что при создании оптимальных условий с помощью пластиковых трубок и других полимерных материалов требовательность к теплу для прохождения фаз сезонного развития у двухлетних посевов дуба снижается (таблица 4).

При оптимальных условиях молодые сеянцы дуба способны образовывать за один вегетационный период два и более прироста, чередующихся друг за другом через некоторый промежуток времени. Первый прирост идёт за счёт питательных веществ, отложенных в предыдущем году. Питание последующих приростов обеспечивается веществами, которые вырабатываются листьями текущего года. Молодые посевы дуба, произрастающие под защитой пластиковых трубок, дали за вегетационный период 2017 г. по два и более приростов (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние пластиковых трубок и других полимерных материалов на прирост в высоту семенного потомства биотипов дуба в 2017 г.

Вариант	Кол-во приростов, шт.	Средняя продолжительность прироста, дни		Текущий прирост (в см)				Сеянцы дуба с тремя приростами, шт.
		первого	второго	первого		второго		
				средн.	макс.	средн.	макс.	
I. Пт + Г + Гб	2...3	32	35	10,0±2,12	20,0±5,01	11,8±2,64	22,0±3,12	45±8,32
II. Пт + Г + Пл	2...3	30	33	7,0±2,03	18,0±4,38	8,4±1,44	20,0±4,46	14±4,12
III. Пт + Г	2...3	33	35	9,2±1,87	22,0±3,66	13,0±3,0	26,0±3,87	27±
IV. Пт + Пл	2...3	34	34	9,0±2,15	23,0±2,18	11,7±3,51	27,0±4,11	32±5,23
V. Пт	2...3	30	32	9,0±2,19	20,0±4,25	10,4±2,83	23,0±3,99	27±5,69
VI. Г + Пл	1...2	23	15	6,3±1,19	18,0±5,13	4,0±1,46	20,0±2,61	-
VII. Пл	1...2	25	17	6,4±0,87	21,0±4,28	4,5±1,18	24,0±2,74	-
VIII. Контроль	1	20	-	5,4±1,15	16,0±3,50	-	-	-

Сеянцы дуба в открытом грунте без полимеров (на контроле) за период вегетации дали только один прирост, рано заложили верхушечную почку и вступили в период покоя. У сеянцев дуба под гильзами из пластиковых трубок первый прирост закончился в течение 30...34 дней; не обладая практически периодом покоя, посевы дуба на таком благоприятном экологическом фоне сразу после закладки почки снова начали интенсивно расти, и сформировали в течение 32-35 дней второй прирост; нередко встречались сеянцы, которые на короткое время прекращали вторичный рост, а затем снова продолжали формировать третий прирост. Посевы дуба в гильзах из пластиковых трубок формировали не только по 2...3 прироста, но и отличались повышенной энергией роста в высоту, в

1,5...2 раза превышая сеянцы на контроле. В таблице 6 приведены средние и максимальные размеры высот двухлетних сеянцев, произрастающих в разных условиях. Молодые сеянцы дуба, растущие в гильзах из пластиковых трубок, по своему росту и развитию почти в 3 раза превышали посевы дуба, произрастающие на контроле.

Таким образом, повторный рост молодых сеянцев дуба в гильзах из пластиковых трубок тесно связан с наличием благоприятных условий, обеспечивающих усиленный рост и развитие растений в период вегетации (табл. 6).

Медленный рост молодых сеянцев дуба на контроле не является биологическим свойством этой породы, а вызван экологическими факторами (рис. 2).

Таблица 6 – Влияние гильз из пластиковых труб и других полимеров на рост, развитие и состояние биотипов дуба (возраст ЛСП 2 года)

Вариант	Сохранность, %	Состояние, балл	Высота 2-летних сеянцев дуба, см		Диаметр основания стволика, мм	Кол-во листьев на 1 сеянце дуба
			средн.	макс.		
I-Пт+Г+Гб	100	4,81	37,5±6,14	70±11,28	6,2±0,87	54±8,32
II-Пт+Г+Пл	100	4,85	32,6±5,31	70±13,02	5,6±1,19	44±8,98
III-Пт+Гб	100	4,78	37,9±4,28	75±10,17	6,5±1,17	48±9,14
IV-Пт+Пл	100	4,80	37,7±4,37	78±12,23	6,3±0,91	46±8,34
V-Пт	100	4,73	35,8±5,12	70±12,54	5,2±0,36	42±8,51
VI-Г+Пл	100	4,27	21,6±5,81	58±6,12	4,5±0,79	28±7,56
VII-Пл	100	4,24	21,2±5,74	65±10,01	4,2±0,71	26±5,51
VIII-Контроль	100	3,47	13,2±3,17	28±12,33	3,6±0,77	20±6,02

Выводы.

1. Для создания благоприятных условий для роста и развития однолетних сеянцев дуба использована оригинальная технология с применением сильнонабухающих полимеров, способных накапливать и постепенно отдавать влагу растениям, мульчирующей пленки «Санбелт», пластиковых трубок.

2. Внесение в корнеобитаемый слой гидрогелей 100 г/м³, покрытие приствольных площадок черной влагопроницаемой пленкой «Санбелт» обеспечило повышение влажности почвы на 20-50 % и полностью исключило рост сорняков. В гильзах из пластиковых труб за счет высокого содержания водяных паров значительно повысилась оводненность листьев и в полуденные часы снижалась транспирация.

3. На искусственном экологическом фоне однолетние сеянцы дуба имели 100 % сохранность и вдвое превышали контрольные по росту. Двухлетние растения распускались на 5-7 дней раньше, чем на контроле, образовывали 2 и более прироста. В итоге опытные посевы дуба по общей фитомассе в 3 раза превышали контрольные образцы.

Литература:

1. Асаматдинов А. О. Влияние гидрогелей на продуктивность саженцев в различных почвах / Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России: Материалы IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Томск, 21-23 апреля 2020 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. С. 137-143. DOI 10.17223/978-5-94621-954-9-2020-33, EDN TEAGOX

2. Вдовина Т.А., Апушев А.К., Исакова Е.А. Влияние способов водоснабжения на водно физические свойства почвы в аридных условиях юго-востока Казахстана // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. 2020. Т. 100. № 4. С. 32-38. DOI 10.31489/2020BMG4/32-38, EDN UPBNBX

3. Воропаева Е.В., Ельшаева И.В. Влияние гидрогеля

«Аквасин» и микробиологического препарата «Экстра-сол» на рост и развитие декоративных растений в условиях оранжереи // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 2(63). С. 84-91. DOI 10.24412/2078-1318-2021-2-84-91, EDN NHIFAN

4. Галимов В.Р., Уфимцева Л.В. Влияние состава почвенного субстрата на рост и развитие вишни // Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: Сборник трудов Международной дистанционной научно-практической конференции, Челябинск, 15 марта – 05 2018 года. – Челябинск: ФГБНУ «Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства», 2018. С. 58-63. EDN UQJGY

5. Данилова Т.Н., Оленченко Е.А. Управление водно-физическими свойствами почвенно-растительного комплекса // Экология, генетика, селекция на службе человечества: Материалы международной научной конференции, Тимирязевский, 28-30 июня 2011 года. – Тимирязевский: Ульяновский государственный технический университет. 2011. С. 381-386. EDN RCBCQV

6. Данилова Т.Н. Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой почвы // Агрофизика. 2020. № 3. С. 17-22. DOI 10.25695/AGRPH.2020.03.03, EDN NVLKW

7. Денисюк Е.Я., Салихова Н.К. Упругие свойства и механическое поведение неоднородно набухших сетчатых эластомеров и полимерных гелей // Вестник Пермского государственного технического университета. Механика. 2009. № 17. С. 58-65. EDNKNXUHMN

8. Климова Е.В. Экологические аспекты использования полимерного гидрогеля в закрытом грунте // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. 2004. № 3. С. 649. EDN HBGDDL

9. Ли С. П., Прохоренко В. А., Худайбергенова Б. М., Жоробекова Ш. Ж. Структурирование солонцеватой сероземно-луговой почвы гидрогелями гуминовых препаратов // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. № 4. С. 45-50. EDN VKAFHL

10. Роговина Л.З., Васильев В.Г., Браудо Е.Е. К определению понятия «полимерный гель» // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2008. Т. 50. № 7. С. 1397-1406. EDN JHLFST

11. Патент № 2305929 С1 Российская Федерация, МПК А01G 23/00. Способ закладки плантационных культур

древесных видов посевом семян: № 2005140494/12: заявл. 23.12.2005; опубл. 20.09.2007 / С. Н. Крючков, Г. П. Архангельская, О. И. Жукова; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации. EDNZHZNBZ

12. Тлеукунова С.У., Ишмуратова М.Ю., Гаврилькова Е.А. [и др.]. Изучение морфологических показателей и урожайности цветочных и овощных культур на фоне применения влагосорбентов в открытом грунте // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. 2015. Т. 77. № 1. С. 62-68. EDN

YZBRRX

13. Уфимцева Л.В., Глаз Н.В., Мелихова А.С. Применение гидрогеля при выращивании саженцев в контейнерах // Ученые заметки ТОГУ. 2018. Т. 9. № 2. С. 746-752. EDN XVAEMP

14. Янов В.И., Янова М.И. Использование новых технологий в условиях сельскохозяйственного производства Центральной зоны Республики Калмыкия / Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2009. Т. 3. № 3. С. 35-40. EDN RZKRFZ

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.011.72-80

The Effectiveness of Polymer and Mulching Materials in the Breeding Oak Plantations Creation in the Dry Steppe

Sergei N. Kryuchkov¹, D.S-Kh.N., Leader Researcher, ORCID 0000-0001-8338-6460;

Andrey V. Solonkin¹, D.S-Kh.N., Leader Researcher, ORCID 0000-0002-1576-7824;

Alexander P. Iozus², K.S-Kh.N., Senior Researcher;

Alexandra S. Solomentseva¹, solomencevaa@vfanc.ru, K.S-Kh.N., Senior Researcher, ORCID 0000-0002-5857-1004;

Sergei A. Egorov¹, Junior Researcher, ORCID 0000-0001-8234-7355 –

¹Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskii Prospekt, 97, Volgograd, Russia

²Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, ttp@kti.ru, 403874, Lenina st. 6A, Kamyshin, Russia

Abstract. The article presents the results of cultivating varieties of oak petiolate (*Quercus robur* L.) in a selective seed plantation created by sowing acorns from selected (plus) trees on a prepared plot of 3.5 hectares in the Kirov forestry of the Volgograd Forestry. Given the lack of irrigation and the possibility of obtaining additional moisture in the extremely arid conditions of the semi-desert Volga region, where oak irrigation is doomed to shrinkage, strongly swelling polymer hydrogels (LNG), a mulching permeable film “Sunbelt” and plastic tubes (PT) were tested for the first time to create a microclimate at the early stages of germination development.

In an exceptionally dry 2016, the new original technology ensured 100% preservation of oak crops and had a positive impact on the growth, development and accumulation of phytomass of oak trees in subsequent years. The use of SPT and mulching materials excludes manual and mechanized care of oaks in plant crops, allows to suppress weeds, improve the water-physical properties of sandy and heavy loamy soils, accumulating moisture with a small amount of precipitation, gradually giving it to plants. The research materials show the effect of polymer materials on soil ecology, water regime, plant growth and development, and give suggestions on the technology of their use in the conditions of the dry steppe.

Keywords: polymers, seed plantation, hydrogels, plastic tubes, mulching films, herbicides, acorns, oak petiolate, seedlings, plus trees.

Received: 28.09.2022

Accepted: 09.12.2022

References:

1. Asamatdinov, A. O. *Vliyanie gidrogelei na produktivnost'*

sajntsev v razlichnyh pochvah [The influence of hydrogels on the seedlings productivity in various soils]. Nature management and nature protection: Protection of natural monuments, biological and landscape diversity of the Tomsk Ob and other regions of Russia: Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Tomsk, April 21-23, 2020. Tomsk: National Research Tomsk State University. 2020. pp. 137-143. DOI 10.17223/978-5-94621-954-9-2020-33

2. Vdovina T.A., Apushev A.K., Isakova E.A. *Vliyanie sposobov vodosnabzheniya na vodno-fizicheskie svoystva pochvy v aridnyh usloviyah yugo-vostoka Kazahstana* [The influence of water supply methods on the water-physical properties of the soil in arid conditions of the south-east of Kazakhstan]. Bulletin of Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography. 2020. Vol. 100. No. 4. PP. 32-38. DOI 10.31489/2020BMG4/32-38. EDN UPNBNX

3. Voropaeva E.V., Elshaeva I.V. *Vliyanie gidrogelya «Akvasin» I mikrobiologicheskogo preparata «Extrasol» na rost I razvitie dekorativnyh rastenii v usloviyah oranjerii* [The influence of the hydrogel “Aquasin” and the microbiological preparation “Extrasol” on the growth and development of ornamental plants in a greenhouse]. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2021. № 2(63). Pp. 84-91. DOI 10.24412/2078-1318-2021-2-84-91. EDN NHIFAN

4. Galimov V.R., Ufimtseva L.V. *Vliyanie sostava pochvennoy substrata na rost i razvitie vishni* [The influence of the composition of the soil substrate on the growth and development of cherries]. Topical issues of horticulture and potato growing : Proceedings of the International Remote Scientific and Practical Conference, Chelyabinsk, March 15 – 05, 2018. Chelyabinsk: South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing. 2018. pp. 58-63. EDN UQJGYY

5. Danilova T.N., Olenchenko E.A. *Upravlenie vodno-fizicheskimi svoystvami pochvenno-rastitel'nogo kompleksa* [Management of water-physical properties of the soil-

plant complex]. Ecology, genetics, breeding in the service of humanity: Proceedings of the International Scientific Conference, Timiryazevsky, June 28-30, 2011. Timiryazevsky: Ulyanovsk State Technical University. 2011. – pp. 381-386. EDN RCBCQV

6. Danilova T.N. *Vliyaniye polimernykh gelej na diapazon dostupnoy vlagi dernovo-podzolistoy pochvy* [Influence of polymer gels on the range of available moisture of sod-podzolic soil]. *Agrophysics*. 2020. 3. pp. 17-22. DOI 10.25695/AGRPH.2020.03.03. EDN NVLKWO

7. Denisyuk E.Ya., Salikhova N.K. *Uprugie svoystva i mekhanicheskoe povedeniye neodnorodno nabuhshih setchatykh elastomerov i polimernykh gelej* [Elastic properties and mechanical behavior of inhomogeneously swollen mesh elastomers and polymer gels]. *Bulletin of the Perm State Technical University. Mechanics*. 2009. 17. pp. 58-65. EDN KXUHMH

8. Klimova E.V. *Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya polimernogo gidrogelya v zakrytom grunte* [Ecological aspects of the use of polymer hydrogel in closed ground]. *Environmental safety in agriculture. Abstract journal*. 2004. 3. p. 649. EDN HBGDDL

9. Li S.P., Prokhorenko V.A., Khudaibergenova B.M., Zhorobekova Sh.Zh. *Strukturirovaniye soloncevatoj serozemno-lugovoj pochvy gidrogelyami guminovykh preparatov* [Structuring of saline gray-earth-meadow soil with hydrogels of humic preparations]. *Problems of agrochemistry and ecology*. 2015. 4. PP. 45-50. EDN VKAFHL

10. Rogovina L.Z., Vasiliev V.G., Braudo E.E. *K opredeleniyu ponyatiya "polimernyj gel"* [To the definition of the concept of "polymer gel"]. *High-molecular compounds. Series S*. 2008.

Vol. 50. No. 7. pp. 1397-1406. EDN JHLFST

11. Patent No. 2305929 C1 Russian Federation, IPC A01G 23/00. *Sposob zakladki plantacionnykh kul'tur drevesnykh vidov posevom semyan* [Method of laying plantation crops of tree species by sowing seeds]: 2005140494/12: application 23.12.2005: publ. 20.09.2007 / S. N. Kryuchkov, G. P. Arkhangel'skaya, O. I. Zhukova; applicant State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Agroforestry. EDN ZHZNBZ

12. Tleukenova S.U., Ishmuratova M.Yu., Gavrilkova E.A. [et al.]. *Izuchenie morfologicheskikh pokazatelej i urozhajnosti cvetochnykh i ovoshchnykh kul'tur na fone primeneniya vlagosorbentov v otkrytom grunte* [The study of morphological indicators and yields of flower and vegetable crops against the background of the use of moisture sorbents in the open ground]. *Bulletin of the Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography*. 2015. Vol. 77. No. 1. PP. 62-68. EDN YZBBRX

13. Ufimtseva L.V., Eye N.V., Melikhova A.S. *Primeneniye gidrogelya pri vyrashchivaniy sazhencev v kontejnerah* [The use of hydrogel in growing seedlings in containers]. *Scientific Notes of TOGU*. 2018. Vol. 9. No. 2. pp. 746-752. EDN XVAEMP

14. Yanov V.I., Yanova M.I. *Ispol'zovaniye novykh tekhnologiy v usloviyakh sel'skohozyajstvennogo proizvodstva Central'noj zony Respubliki Kalmykiya* [The use of new technologies in the conditions of agricultural production in the Central zone of the Republic of Kalmykia]. *Collection of scientific papers of the Stavropol Scientific Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production*. 2009. Vol. 3. No. 3. pp. 35-40. EDN RZKRFZ



Рисунок 3. Общий вид опытного участка

Цитирование. Крючков С.Н., Солонкин А.В., Иозус А.П., Соломенцева А.С., Егоров С.А. Эффективность полимерных и мульчирующих материалов при создании селекционных плантаций дуба в сухой степи // *Научно-агрономический журнал*. 2022. №4(119). С. 72-80. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.011.72-80

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Iozus A.P., Solomentseva A.S., Egorov S.A. The Effectiveness of Polymer and Mulching Materials in the Breeding Oak Plantations Creation in the Dry Steppe. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 72-80. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.011.72-80

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Оценка отобранного генофонда *Pinus sylvestris* L. по росту полусибсов

Александр Петрович Иозус^{✉1}, ttp@kti.ru, к.с.-х.н., доцент, кафедра ТТИ;
Александр Александрович Завьялов¹, заведующий лабораторией кафедры ТТИ;
Сергей Николаевич Крючков², д.с.-х.н., г.н.с., ORCID 0000-0001-8338-6460 –

¹Камышинский технологический институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», ttp@kti.ru, 403874, ул. Ленина, 6А, г. Камышин, Россия

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), info@vfanc.ru, 400062, пр. Университетский, 97, Волгоград, Россия

В Волгоградской области устойчивость, производительность и сохранность сосновых насаждений остается невысокой. Территория области относится к зоне сухой степи Нижнего Поволжья и располагается вне ареала естественного распространения этой породы. Основным направлением повышения устойчивости и производительности насаждений является полный перевод семеноводства сосны на селекционно-генетическую основу. Основной задачей исследования является выделение в тяжелых почвенно-климатических условиях региона комплекса наиболее эффективных приемов и методов оценки плюсовых деревьев по потомству. Впервые в сухой степи было применено разделение полусибсового потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной на группы по успешности роста в высоту. Исследования проводились на базе ранее созданного в регионе комплекса лесосеменных плантаций и позволили выделить наиболее эффективные селекционные приемы и особенности. Выделение среди полусибсов разных групп по успешности роста позволило определить возраст, в котором в условиях сухой степи происходит стабилизация рангов полусибсовых семей, позволяющая оценивать генетические свойства плюсовых деревьев по семенному потомству, он составил 6-10 лет. Для повышения эффективности селекционных мероприятий и биоразнообразия, необходимо вводить в селекционные программы региона отобранный и проверенный генофонд прилегающих к Волгоградской области естественных популяций сосны, в соответствии с требованиями лесосеменного районирования.

Ключевые слова: сосна, плюсовые деревья, селекция, наследуемость, генетическая изменчивость, полусибсы.

Работа выполнена в рамках тематического плана госбюджетных НИР кафедры ТТИ (Камышинский технологический институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»). Код темы по ГРНТИ 68.47.00. «Особенности технологии выращивания селекционного посадочного материала, предназначенного для создания защитных насаждений в сухой степи Нижнего Поволжья».

Поступила в редакцию: 28.10.2022

Принята к печати: 09.12.2022

Волгоградская область выбрана местом реализации пилотного проекта по защитному лесоразведению. Планируется значительно увеличить площадь существующих в регионе защитных лесных насаждений и довести общую лесистость до 5,1 % [12]. Значительная роль отводится в проекте сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Новые насаждения должны создаваться только на селекционно-генетической основе, с учетом достижений селекционной науки и практики в регионе и требований лесосеменного районирования [8,11,13].

В середине 60-х годов прошлого столетия на территории нынешней России начали создавать селекционные семенные плантации сосны обыкновенной. Лесоводами разных поколений проводилась большая работа по отбору плюсовых деревьев и оценке их по потомству. К настоящему времени удалось создать свыше 10 тыс. га лесосеменных плантаций и занести их в постоянную

лесосеменную базу. Однако полностью перевести семеноводство сосны, да и других пород, на селекционно-генетическую основу ученым и практикам не удалось. И только немногим более 10-15 % от общей потребности в семенах в России составляют семена с лесосеменных плантаций. Швеция и Финляндия, на 20 лет раньше начавшие селекционную работу, полностью обеспечивают потребности в семенах с лесосеменных плантаций [2,10].

Тем не менее лесоводы России за пятидесятилетний период также накопили значительный научный и производственный опыт, выделили основные направления работ по плантационному семеноводству и реализовали их. Если за рубежом значительная доля в создании плантаций приходится на *in vitro* и другие подобные технологии, в России для размножения выделенных плюсовых деревьев используют семенной (семейственный) с получением сибсов и полусибсов и вегетативный методы [2,10]. Опыт создания селекционных

семенных плантаций в условиях сухой степи Нижнего Поволжья и уже существующие объекты из клоновых, семейственных и популяционных плантаций позволили провести дальнейшие селекционные исследования [3,4].

Цель исследования – дать оценку наследуемости скорости роста в высоту генофонда, отобранного для создания плантаций. Определить коэффициент наследуемости селекционного материала H^2 в широком смысле, и результативность селекционных мероприятий в сухой степи Нижнего Поволжья по сравнению с зоной экологического оптимума. Новизна исследования заключается в определении эффективности ранней диагностики по скорости роста полусибсов на основе метамерно-генетического и кластерного анализов.

Материалы и методы исследования. Лесосеменные плантации создавались в Новоаннинском лесхозе (СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество»), находящемся в Новоаннинском районе Волгоградской области, под руководством члена-корреспондента РАН Г.Я. Маттиса в 1983-1998 годах. Проектное задание составлено Волгоградским управлением лесного хозяйства (Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области) под общим руководством главного лесничего А.И. Акинтьевой с участием ВНИАЛМИ (Всероссийский НИИ агролесомелиорации). В соответствии с заданием Саратовским филиалом «Союзгипролесхоз» в 1981 году был выполнен и утвержден проект создания комплекса лесосеменных плантаций по трем основным породам защитного лесоразведения – сосны, дуба, лиственницы. Вместе с другими породами было создано 160 га лесосеменных плантаций сосны. В состав семеноводческого комплекса сосны входили клоновые, популяционные и семейственные плантации, созданные вегетативным и семенным путем. На создававшихся объектах с момента размножения материала и закладки плантаций проводились научные наблюдения [3,4]. В связи с отсутствием в степной зоне опыта создания научных семеноводческих объектов предусматривались различные варианты создания лесосеменных плантаций, клоновых, семейственных, популяционных, в связи с чем в 1987 году на участке № 8 была заложена семейственная плантация из потомства 25 семей плюсовых деревьев, отобранных в Волгоградской области. Размещение растений – 5×10 метров, площадь участка – 7 га, количество высаженных растений – 1400 штук. Семена были собраны непосредственно с плюсовых деревьев Волгоградской области, сеянцы выращены в питомнике Нижневолжской станции по селекции древесных пород ВНИАЛМИ (ныне Нижневолжской станции по селекции древесных пород – филиал ФНЦ Агроэкологии РАН).

Изучались полусибсовые потомства плюсовых деревьев сосны, высаженные на лесосеменную плантацию СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество», и потомства популяции, произрастающей на

этой же плантации, обычной селекционной категории. Ежегодно в период проведения опытов обмерялись по 50 полусибсов из 56 полусибсов каждой семьи, имеющих на плантации. В это же время обмерялось 50 деревьев на заложённой одновременно с семейственной арчединской популяционной плантации на поле № 2. Общая площадь поля №2 – 4,7 га, размещение растений – 5×10, общее число высаженных растений – 940 штук. Измерения в высоту проводились сначала рейкой высотой 5 метров, потом высотомером Макарова с точностью 1 см для деревьев возрастом до 20 лет, и точностью 10 см для деревьев возрастом свыше 20 лет. Диаметр измеряли на высоте 1,3 м мерной вилкой с точностью до 1 мм. Полученные материалы обрабатывались статистическими методами. Для чего был взят предложенный Р. Фишером дисперсионный анализ, который позволяет оценить силу влияния разных факторов на анализируемый признак, а также уровень генетического разнообразия семенных потомств [7]. Через коэффициент наследуемости в широком смысле H^2 и аддитивный коэффициент наследуемости в узком смысле h^2 .

С целью выделения плюсовых деревьев, потомство которых отличается успешным ростом, применяли ранжирование результатов и их кластерный анализ, проведенный методом кластеризации “К-средних” [1,14,15], для чего показатели роста полусибсов на плантации разбивали на 5 групп-кластеров, выделяемых по скорости роста. Объектами, на которых проводились измерения, были полусибсы, произраставшие на семейственной лесосеменной плантации СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество», их обмеры проводились ежегодно в течение 22 лет. Кластерами были 5 групп полусибсов, выделенных по скорости роста.

Результаты и их обсуждение. Изучение основных показателей роста потомства и сравнительный анализ по основным показателям роста и развития селекционных растений, выращенных из семян, собранных с плюсовых деревьев, и растений, выращенных из смеси семян, собранных в обычных насаждениях популяции и высаженных на популяционных плантациях, позволил оценить уровень их генетического разнообразия по варьированию дисперсий. Это дало возможность перейти к оценке генетического разнообразия потомства селекционного материала при генетической селекции вне ареала естественного распространения и изучить вопрос о возможном снижении генетического разнообразия и наследуемости селекционных признаков в тяжелых почвенно-климатических условиях сухой степи Нижнего Поволжья [5, 6, 9].

Согласно исследованиям ряда авторов [1,3,4,5,7,9], именно соотношение наследственных факторов с экологическими непосредственно определяет особенности роста, развития, устойчивости к неблагоприятным условиям, интенсивности плодоношения и обуславливает выбор селек-

ционных мероприятий и стратегию селекции в регионе. Одним из эффективных методов, позволяющих провести генетическую оценку селекционного материала, является метамерно-генетический анализ роста селекционного потомства по их сезонным приростам [5,6,7]. Для проведения этого

анализа из 25 семей выбрали 14 методом случайных чисел.

Оценка проводилась по коэффициенту наследуемости общей изменчивости в широком смысле H^2 , результаты, полученные в процессе расчетов, представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Изменение коэффициента наследуемости в широком смысле H^2 у полусибсов на лесосеменных плантациях СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество»

Номер семьи	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10	11	12	13	14
H^2	0,48	0,65	0,32	0,42	0,49	0,54	0,42	0,32	0,36	0,39	0,43	0,26	0,73	0,35

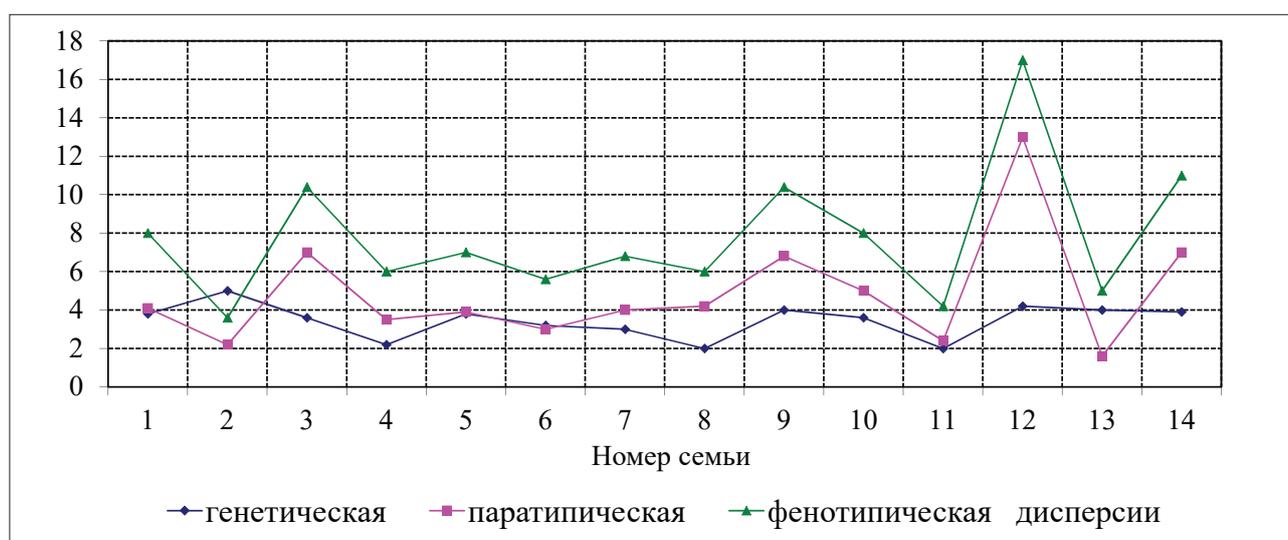


Рисунок 1. Изменчивость характеристик дисперсий, рассчитанных по годичным приростам семей на лесосеменных плантациях

Расчетами по проверке гипотез установлено, что между полусибсами разных семей существуют достоверные на уровне $p < 0,01$ отличия по росту в высоту, что подтверждает влияние генофонда плюсовых деревьев на результирующий признак. Для более полной генетической оценки вычисляли коэффициенты наследуемости: H^2 – коэффициент наследуемости общей изменчивости в широком смысле и h^2 – коэффициент аддитивной наследуемости в узком смысле. В результате для полусибсов семей, произрастающих на лесосеменной плантации, методом метамерно-генетического дисперсионного анализа получили следующие показатели наследуемости по высоте растений:

- коэффициент наследуемости H^2 в широком смысле имел средний показатель 0,44 с диапазоном колебаний от 0,26 до 0,73;

- коэффициент наследуемости h^2 в узком смысле имел невысокий диапазон колебаний 0,14 – 0,15, соответственно его среднее значение составило 0,145;

- по диаметру ствола можно определить только коэффициент наследуемости h^2 в узком смысле, который имел диапазон колебаний от 0,03 до 0,10,

среднее значение составило соответственно 0,065.

Исследования показали, что в дисперсии велика доля экологических характеристик, генетические дисперсии показали меньшие значения. Подобная особенность отмечена и другими авторами [1,2,3,4,5,7,13]. Условия произрастания, их неоднородность, которая наблюдается даже на одном участке, метеорологические показатели также изменялись на протяжении периода исследований – все это и оказало значительное влияние на варьирование генетических признаков.

Отмечены сходные показатели у полусибсов плюсовых деревьев и деревьев, выращенных в сходных лесорастительных условиях на лесосеменной плантации из семян популяции по генетической составляющей и показателям дисперсии. Еще одним подтверждением этого предположения является невысокое варьирование таксационных показателей селекционного материала (высота, диаметр) в течение длительного времени при выращивании на селекционно-семенной плантации у полусибсов и семян популяционного сбора.

В возрасте 29 лет сравнивали рост полусибсов, произрастающих на поле № 8 лесосеменной план-

тации СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество» площадью 7 га, где сохранилось 1350 деревьев. Произвели измерения деревьев, произрастающих

на данном поле и одновозрастного поля № 2 арчединской популяции, где сохранилось 850 деревьев. Результаты приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Таксационные показатели селекционного материала возрасте 29 лет на лесосеменной плантации СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество»

Категория опытного материала	D, см	H, м
Полусибсы плюсовых деревьев	24,5+0,34	12,5+0,28
Потомство арчединской популяции	24,0+0,32	11,5+0,25

Примечание: D – диаметр ствола на высоте 1,3 м; H – высота дерева

По таксационным показателям полусибсовые потомства не имеют значительных отличий от смешанного потомства популяций.

Так как те и другие потомства произрастают на лесосеменной плантации в выровненных лесорастительных условиях, их паратипические дисперсии не отличаются большим разнообразием, что позволяет сделать вывод о том, что у изучаемых совокупностей нет значительных отличий и по генетическому разнообразию.

Итоги проведенных исследований позволяют сделать вывод, что, несмотря на отмеченное выше нивелирование результатов селекционных работ в условиях сухой степи Нижнего Поволжья, в целом отбор по фенотипу плюсовых деревьев в насаждения Волгоградской области повышает скорость роста селекционного семенного потомства, что подтверждает определенную эффективность плюсовой селекции.

К сожалению, при проведении селекционных мероприятий в условиях сухой степи из-за ограниченности изучаемого селекционного материала нельзя обеспечить высокую интенсивность отбора, что могут позволить себе селекционеры, работающие в зоне экологического оптимума для данного вида. Трудности подбора базисных насаждений для проведения селекционных работ обуславливают ошибки при отборе и оценке по потомству плюсовых деревьев. Другой трудностью является высокая рекомбинация генетического материала на селекционных семенных плантациях с ограниченным набором клонов и семей. Поэтому в условиях сухой степи, в настоящее время после проведенных селекционных мероприятий, не отмечено их значительное воздействие ни на таксационные показатели, ни на генетическое разнообразие. При значительном расширении базы проведения селекционных работ, что возможно при вовлечении в селекционный процесс граничащих популяций сосны Саратовской, Воронежской и Тамбовской областей с учетом требований лесосеменного районирования [13], из которых еще в 19 и начале 20 века получали сеянцы и семенной материал для создания насаждений на территории теперешней Волгоградской области, ожидаемо возрастет эффективность селекционных меро-

приятий и гетерогенность будущих селекционных объектов. С селекционных семенных плантаций перечисленных регионов целесообразно привлечь генетический материал при проведении опытов на генетическое разнообразие потомства, раннюю диагностику и другие оценки, что, по нашему мнению, позволит значительно повысить селекционный эффект проводимых мероприятий. В этом случае значительно возрастут генетическое разнообразие и интенсивность отбора, и полученные нами предварительные выводы могут быть пересмотрены.

Для увеличения положительного эффекта плюсовой селекции по фенотипу материнских деревьев необходимо активно внедрять в селекционный процесс раннюю диагностику. Перед высадкой на лесокультурную площадь, особенно в опытные и селекционные насаждения, необходимо отбраковывать до 20-30 % сеянцев, отстающих в росте, развитии корневой системы, имеющих угнетенный вид.

После оценки генетического разнообразия потомства плюсовых деревьев, следующим этапом селекционных работ является дальнейшее развитие ранней диагностики проявления положительных свойств у потомства отобранных плюсовых деревьев по сравнению с потомством средних образцов популяции.

В мировой селекции [2,8,10,14] считается, что генотип является определяющим фактором жизненных характеристик дерева: роста, развития, устойчивости. Серьезной задачей селекционеров является определение возраста, в котором ранговое положение потомства стабилизируется. По этому возрасту можно примерно оценить их будущие таксационные показатели и другие характеристики. По сосне имеется широкий разброс мнений, начиная от 5-7 лет до 60-100 лет, что обусловлено различными методиками исследований и оценки результатов [1,2,3,5,10,14,15].

Результаты исследований показали, что ранняя диагностика наследственных свойств отбранного в регионе генофонда требует дифференцированного подхода. Так, отбор быстрорастущих семей малоэффективен из-за их генетической неоднородности, так как состав семьи определяется

общей комбинационной способностью и специфической комбинационной способностью конкретного маточного дерева, что и оказывает влияние на конечный признак. Поэтому ранговое положение семьи в раннем возрасте имеет высокую изменчивость. Ранняя диагностика клонов по росту потомства, видимо, будет более эффективна. Но в практике лесного хозяйства Российской Федерации передовые технологии вегетативного размножения, к сожалению, не получили широкого развития, и проведение подобных исследований затруднено.

Одним из наиболее перспективных методов ранней диагностики является кластерный анализ, в котором изначальное разделение потомства на группы по скорости роста позволяет уйти от не-

достатков дисперсионного анализа, когда в одном блоке анализируется вся масса исходных данных.

Выше были приведены результаты расчетов генетической и паратипической составляющей на основе дисперсионного анализа. На тех же объектах провели оценку роста и развития потомства 25 плюсовых деревьев, произрастающих на семейственной плантации методом кластерного анализа [1].

Результаты исследований дифференциации потомства позволили разделить их на основе кластерного анализа на 5 групп роста. Подобный подход рекомендован рядом авторов [1,14,15]. Кластерный анализ роста деревьев, относящихся к разным группам, позволил выявить значительные различия между выделенными группами в течение 20-летнего периода исследований (рис. 2).

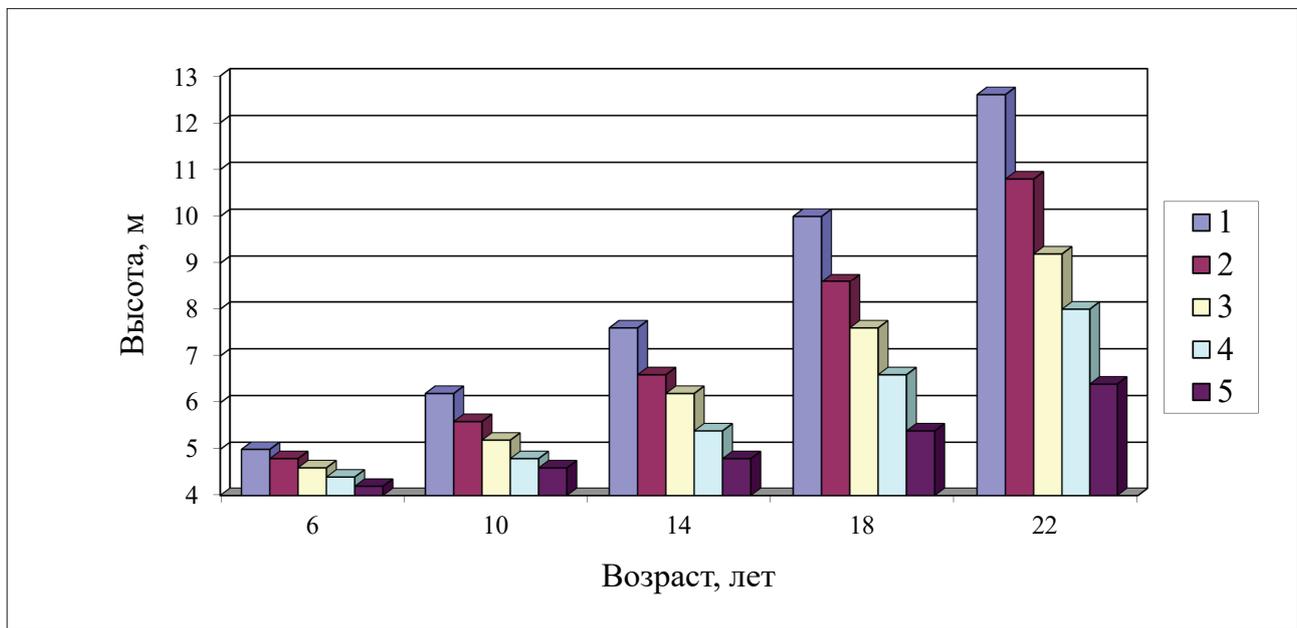


Рисунок 2. Изменение высоты выделенных групп роста в течение периода наблюдений на селекционных лесосеменных плантациях СГБУ ВО «Новоаннинское лесничество»: 1 – самые быстрорастущие деревья; 2 – деревья повышенного роста; 3 – средние деревья; 4 – деревья замедленного роста; 5 – медленно растущие деревья

Результаты кластерного анализа позволяют выделять различия между деревьями по росту с 6 лет. При этом с возрастом различия между быстро и медленно растущими деревьями только возрастают, и разница между группами становится более значительной, чем разница между деревьями внутри выделенной группы. Тот селекционный материал, который был выделен в 6-тилетнем возрасте показывает превосходство в росте в течение длительного периода, что указывает на перспективы ранней диагностики выделенных по росту потомства плюсовых деревьев-лидеров, куда не обязательно входят деревья, превосходящие по таксационным показателям. Таким образом, различия между потомством сосны по успешности роста при выращивании в однородных условиях определяются генотипом материнских

деревьев и их специфической комбинационной способностью.

Заключение.

1. В сухой степи в условиях однородного опытного участка дисперсионный анализ показал достоверное влияние генофонда плюсового дерева на результативный признак – рост в высоту полусибсов, хотя влияние экологических факторов велико. Поэтому ранг семьи по таксационным показателям в ряду других семей постоянно варьирует. Эффективность селекционных мероприятий в Волгоградской области можно значительно повысить, если включать в селекционный процесс плюсовые деревья близлежащих регионов с учетом требований лесосеменного районирования.

2. Выделение потомства плюсовых деревьев в разные группы по скорости роста позволило уста-

новить, что, уже начиная с шестилетнего возраста, отмечается относительная стабилизация выделенных групп семей сосны обыкновенной по скорости роста полусибсов в высоту. Возраст оценки генетических свойств плюсовых деревьев сосны обыкновенной в условиях сухой степи Нижнего Поволжья можно снизить до 6-10 лет.

Литература:

1. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Оптимальный возраст оценки генетических свойств плюсовых деревьев в испытательных культурах ели европейской // Лесоведение. 2020. № 5. С. 442-450.
2. Ефимов Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной: монография / Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции. Воронеж: Изд-во Исток (Москва), 2010. 252 с.
3. Иозус А.П., Зеленьяк А.К., Макаров В.М. Создание лесосеменных плантаций сосны и особенности их плодоношения в сухой степи Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9826> (дата обращения: 26.10.2022).
4. Иозус А.П., Завьялов А.А., Бойко С.Ю. Генеративные особенности и рост сосны обыкновенной на плантациях вегетативного и семенного происхождения в сухой степи Нижнего Поволжья // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 19-23; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37665> (дата обращения: 26.10.2022).
5. Зеленьяк А.К., Иозус А.П., Макаров В.М. К вопросу генетической оценки перспективности отобранного селекционного материала сосны для лесосеменных плантаций Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9986> (дата обращения: 26.10.2022).
6. Макаров В.М., Иозус А.П., Морозова Е.В. Оценка наследуемости отобранного селекционного материала по

скорости роста семенного потомства в условиях сухой степи Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14317> (дата обращения: 26.10.2022).

7. Меркурьева Е. К., Шангин-Березовский Г. Н. Генетика с основами биометрии. Серия: Учебники и учебные пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений. – Москва: Колос, 1983. 400 с.
8. Рогозин М.В. Старая и новая парадигмы в лесоводстве и лесной селекции // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 94-98; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35869> (дата обращения: 26.10.2022).
9. Семенютина А.В., Костюков С.М., Кащенко Е.В. Методы выявления механизмов адаптации древесных видов в связи с их интродукцией в засушливые регионы // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 103-109. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35797> (дата обращения: 26.10.2022).
10. Царев А.П. Программы лесной селекции в России и за рубежом: монография. – Москва: Изд-во Московского государственного университета леса, 2013. 164 с.
11. Научно-методические указания по сортоводству деревьев и кустарников для защитного лесоразведения в аридных регионах. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 51с.
12. Постановление Губернатора Волгоградской области от 20.02.2019 № 81 «Об утверждении Лесного плана Волгоградской области» // <https://vlg-gov.ru/doc/104964> (дата обращения 28.10.2021.)
13. Об утверждении Методических указаний по осуществлению лесозащитного районирования: Приказ Рослесхоза от 25.04.2017 № 179. <http://base.garant.ru/71723350/>
14. Jiang I. B-J. Early testing in forest tree breeding: a review. Forest Tree Improvement. 1987. № 20. P. 45-78.
15. Ruotsalainen S. Increased forest production through forest tree breeding. Scandinavian J. Forest Research. 2014. V. 29. № 4. P. 333-344.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.012.81-87

Evaluation of the *Pinus Sylvestris* L. Selected Gene Pool By the Semi-Sibs Growth

Alexander P. Iozus^{✉1}, ttp@kti.ru, K.S-Kh.N., Associate Professor of the TTI Department;

Alexander A. Zavyalov¹, Head of the Laboratory of the TTI Department;

Sergei N. Kryuchkov², D.S-Kh.N., Leader Researcher, ORCID 0000-0001-8338-6460;

¹Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, ttp@kti.ru, 403874, Lenina st. 6A, Kamyshin, Russia

²Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. In the Volgograd region, the stability, productivity and safety of pine plantations remains low. The territory of the region belongs to the dry steppe zone of the Lower Volga region and is located outside the natural distribution area of this breed. The main direction of increasing the stability and productivity of plantings is the complete transfer of pine seed production to a breeding and genetic basis.

The main objective of the study is to identify in severe soil and climatic conditions of the region a set of the most effective techniques and methods for evaluating plus trees by progeny. For the first time in the dry steppe, the division of semi-sibs progeny of plus trees of Scotch pine into groups according to the success of growth in height was applied. The research was carried out on the basis of a complex of forest seed

plantations previously established in the region and allowed us to identify the most effective breeding techniques and features. The selection of different groups among the half-sibs according to the success of growth allowed us to determine the age at which, in the conditions of the dry steppe, the ranks of the half-sibs families are stabilized, which makes it possible to evaluate the genetic properties of plus trees by seed progeny. It was 6-10 years old. To increase the efficiency of breeding activities and biodiversity, it is necessary to introduce into the breeding programs of the region a selected and verified gene pool of natural pine populations adjacent to the Volgograd region, in accordance with the requirements of forest-seed zoning.

Keywords: pine, "plus" trees, breeding, heritability, genetic variability, semi-sibs

Received: 28.10.2022

Accepted: 09.12.2022

References:

1. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Optimal'nyj vozrast ocenki geneticheskikh svoystv plyusovyh derev'ev v ispytatel'nyh kul'turah eli evropejskoj* [Optimal age for assessing the genetic properties of plus trees in test cultures of European spruce]. *Lesovedenie* [Forest science]. 2020. 5. pp. 442-450.
2. Efimov Yu.P. *Semennye plantacii v selekcii i semenovodstve sosny obyknovnoy* [Seed plantations in breeding and seed production of scots pine]: monograph / Scientific Research Institute of Forest Genetics and Breeding. Voronezh: "Istok" Publ. house (Moscow). 2010. 252 p.
3. Iozus A.P., Zelenyak A.K., Makarov V.M. *Sozdanie lesosemennyh plantacij sosny i osobennosti ih plodonosheniya v suhoj stepi Nizhnego Povolzh'ya* [Creation of pine seed plantations and features of their fruiting in the dry steppe of the Lower Volga region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2013. 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9826> (access date: 26.10.2022).
4. Iozus A.P., Zav'yalov A.A., Bojko S.Yu. *Generativnye osobennosti i rost sosny obyknovnoy na plantacijah vegetativnogo i semennogo proiskhozhdeniya v suhoj stepi Nizhnego Povolzh'ya* [Generative features and growth of scots pine on plantations of vegetative and seed origin in the dry steppe of the Lower Volga region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of contemporary natural science]. 2021. 8. pp. 19-23; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37665> (access date: 26.10.2022).
5. Zelenyak A.K., Iozus A.P., Makarov V.M. *K voprosu geneticheskoy ocenki perspektivnosti otobranogo selekcionnogo materiala sosny dlya lesosemennyh plantacij Nizhnego Povolzh'ya* [On the issue of the selected pine breeding material genetic evaluation prospects for forest seed plantations of the Lower Volga region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2013. 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9986> (access date: 26.10.2022).
6. Makarov V.M., Iozus A.P., Morozova E.V. *Ocenka nasleduemosti otobranogo selekcionnogo materiala po skorosti rosta semennogo potomstva v usloviyah suhoj stepi Nizhnego Povolzh'ya* [Evaluation of the selected breeding material heritability by the growth rate of seed progeny in the dry steppe of the Lower Volga region conditions]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2014. 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14317> (access date: 26.10.2022).
7. Merkur'eva E.K., Shangin-Berezovskij G.N. *Genetika s osnovami biometrii* [Genetics with the basics of biometrics]. Series: Textbooks and manuals for higher agricultural educational institutions. Moscow: "Kolos" Publ. house, 1983. 400 p.
8. Rogozin M.V. *Staraya i novaya paradigmy v lesovodstve i lesnoj selekcii* [Old and new paradigms in forestry and forest breeding]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of contemporary natural science]. 2016. 4. pp. 94-98; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35869> (access date: 26.10.2022).
9. Semenyutina A.V., Kostyukov S.M., Kashchenko E.V. *Metody vyavleniya mekhanizmov adaptacii drevesnyh vidov v svyazi s ih introdukcijev v zasushlyvye regiony* [Methods of identifying the adaptation mechanisms of tree species in connection with their introduction to arid regions]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of contemporary natural science]. 2016. 2. pp. 103-109. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35797> (access date: 26.10.2022).
10. Tsarev A.P. *Programmy lesnoj selekcii v Rossii i za rubezhom* [Forest breeding programs in Russia and abroad]: monograph. Moscow: BMSTU Publ. house, 2013. 164 p.
11. *Nauchno-metodicheskie ukazaniya po sortovodstvu derev'ev i kustarnikov dlya zashchitnogo lesorazvedeniya v aridnyh regionah* [Scientific and methodological guidelines on cultivating trees and shrubs for protective afforestation in arid regions]. Volgograd: VNIALMI Publ. house, 2013. 51 p.
12. Resolution of the Governor of the Volgograd Region dated 20.02.2019 No. 81 "On approval of the Forest Plan of the Volgograd region" // <https://vlg-gov.ru/doc/104964> (access date: 28.10.2021.)
13. On approval of Methodological guidelines for the implementation of forest protection zoning: Order of the Federal Forestry Agency dated 25.04.2017. 179. <http://base.garant.ru/71723350/>
14. Jiang I. B.-J. Early testing in forest tree breeding: a review. *Forest Tree Improvement*. 1987. 20. pp. 45-78.
15. Ruotsalainen S. Increased forest production through forest tree breeding. *Scandinavian Forest Research*. 2014. V. 29. 4. pp. 333-344.

Цитирование. Иозус А.П., Завьялов А.А., Крючков С.Н. Оценка отобранного генофонда *Pinus sylvestris* L. по росту полусибсов // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 81-87. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.012.81-87

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Iozus A.P., Zavyalov A.A., Kryuchkov S.N. Evaluation of the *Pinus Sylvestris* L. Selected Gene Pool By the Semi-Sibs Growth. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 81-87. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.012.81-87

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Продуктивность сортов абрикоса в условиях Волгоградской области

Никольская Ольга Алексеевна✉, к.с.-х.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-1337-7101;

Солонкин Андрей Валерьевич, д.с.-х.н., г.н.с., ORCID 0000-0002-1576-7824;

Касьянова Галина Валерьевна, лаборант-исследователь –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), info@vfanc.ru, 400062, пр. Университетский, 97, Волгоград, Россия

Формирование и рост плодов проходит в постоянно изменяющихся погодных условиях, что не редко приводит к снижению эффективности проведения агротехнологических мероприятий, направленных на получение стабильных и устойчивых урожаев плодовых культур. За последние десятилетия климатические условия Волгоградской области сильно изменились, что привело к сокращению в плодовых насаждениях такой ценной культуры, как абрикос. Из-за участившихся возвратных заморозков, резких перепадов температуры в дневное и ночное время, а также продолжительных оттепелей в зимний период у некоторых сортов абрикоса наблюдается гибель надземной части до 70%, а зачастую и полная гибель дерева. С целью изучения влияния метеорологических условий нашей области на плодоношение сортов абрикоса различного происхождения на опытно-исследовательской территории лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН в 2015 году были высажены следующие сорта: Выносливый, Преусадебный, Полесский крупноплодный, Нью-Джерси и Мелитопольский ранний. Каждый сорт показал различный процент повреждения в результате перезимовки 2018-2022 гг. Более высокую зимостойкость и урожайность показал сорт Полесский крупноплодный, давший урожай даже в самый неурожайный год (2021 г.) – 9,3 кг плодов с одного дерева.

Ключевые слова: абрикос, зимостойкость, продуктивность, сорт, урожайность, подмерзание, плодоношение.

Работа выполнена в рамках государственного задания FNFE-2022-0010 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Поступила в редакцию: 03.10.2022

Принята к печати: 06.12.2022

Возделывать плодовые культуры в России начали еще в X-XI веках, и даже спустя столетия необходимость в подборе сортимента семечковых и косточковых культур из-за постоянного изменения условий возделывания, а также постоянно меняющегося спроса на плоды и ягоды все более возрастает. В юго-западной зоне России одной из широко распространённых плодовых культур является абрикос [6].

Абрикос – косточковая культура, обладающая повышенной теплолюбивостью, но при этом высокой засухоустойчивостью. Спрос на эту культуру последние годы все время растёт. В связи с высокой засухоустойчивостью деревья абрикоса семенного происхождения (жердели) использовались в качестве полезащитных насаждений в лесополосах. В пчеловодстве эта культура является отличным медоносом. Прежде древесина применялась для разнообразных поделок, из смолы получали камедь и чёрную краску, которую использовали в ковроткацкой промышленности.

В плодах абрикоса, ядрах и косточках содержится провитамин А, витамины спектра В, Р, аскорбиновая и другие кислоты, железо, серебро, натрий, калий, сахар и многие другие полезные для чело-

века элементы [7;13]. Благодаря этому абрикос используется в медицине (листья, плоды, косточка и ядро, камедь), в косметологии (косточки, ядра, плоды), в кулинарии (косточки, ядра, плоды, листья). Сладкими ядрами абрикоса можно заменить миндаль, что выгодно сказывается на экономической составляющей возделывания данной культуры.

Благодаря работе селекционеров появилась возможность возделывать абрикос не только в южных, но и более северных регионах нашей страны. Появились сорта морозо- и зимостойкие, с повышенной урожайностью, различные по срокам созревания, произрастающие в различных почвенных условиях [2;3]. Ещё одним преимуществом выращивания абрикоса является раннее его вступление в плодоношение, на 3-4 год, а уже с 5-6 года плодоношение достигает промышленных масштабов.

Начало созревания плодов абрикоса попадает на период, когда ранние косточковые культуры, такие как черешня и вишня, уже практически отплодоносили, а более поздние, такие как слива, еще не созревают, что позволяет в этот период обеспечить население свежей и полезной пло-

вой продукцией, а перерабатывающую промышленность сырьем [15].

Тем не менее при возделывании абрикоса существует ряд сложностей, связанных с оттепелями в зимний период и возвратными заморозками в весенний период [16]. В связи с ранним выходом из периода покоя и ранним цветением возвратные заморозки часто повреждают как репродуктивные почки, так и непосредственно цветки, что в свою очередь приводит к частичной, а порой и полной гибели урожая [4;5;10].

Однако при грамотном подборе сортимента и выборе места посадки абрикос может занять достойное место в плодовых насаждениях [8].

В Волгоградской области за последние десятилетия климат существенно изменился в неблагоприятную сторону для абрикоса, так как зимы стали малоснежными, участились резкие перепады температуры, что приводит к подмерзанию отдельных частей и нерегулярному плодоношению [14].

В связи с этим целью нашего исследования являлось изучение и подбор наиболее устойчивых к стресс-факторам сортов абрикоса, позволяющих получать стабильные урожаи качественных плодов.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились на территории лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства селекционно-семеноводческого центра по древесным и кустарниковым породам ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». Участок размещения сортовых насаждений расположен в Дубовском районе Волгоградской области. В качестве объектов исследований изучались 5 наиболее перспективных сортов абрикоса:

Нью-Джерси – сорт получен американскими селекционерами, раннего срока созревания, самоплодный, плоды приятного вкуса, вес плодов 60-70 г, хорошо адаптирован к неблагоприятным климатическим условиям;

Полесский крупноплодный – получен в институте садоводства Украинской академии аграрных наук, позднего срока созревания, частично самоплодный, плоды приятного десертного вкуса, вес плодов 50-80 г, неприхотливый в уходе, дающий постоянный хороший урожай;

Приусадебный – селекция Государственного Никитского ботанического сада, раннего срока созревания, плоды одномерные весом 25-40 г, хорошего вкуса, цветочные почки и дерево обладают хорошей зимостойкостью;

Мелитопольский ранний – выведен на Украине в НИИ орошаемого садоводства, раннего срока созревания, самоплодный, плоды приятного вкуса весом 40-60 г, хорошая зимостойкость генеративных почек и древесины;

Выносливый – селекция Государственного Никитского ботанического сада, среднего срока созревания, плоды отменного вкуса весом 30-45 г,

один из зимостойких сортов с адаптацией к суровым климатическим условиям.

Деревья для изучения были высажены на участок в 2015 году, схема посадки 5×2 м. Наблюдения за сортами проводились согласно общепринятым методикам исследования плодовых культур [9;11;12].

Степень подмерзания отмечалось в баллах, где 0 – нет признаков подмерзания; 1 – очень слабое подмерзание; 2 – слабое подмерзание; 3 – значительное подмерзание; 4 – очень сильное подмерзание; 5 – дерево погибло полностью. Степень плодоношения и цветения отмечалась в баллах, где 0 – урожая и цветения нет; 1 – очень слабый урожай и цветение, единичные плоды (цветки) в кроне дерева; 2 – слабый урожай (цветение), плоды (цветки) на отдельных скелетных ветвях; 3 – средний (цветение), плоды (цветки) есть в значительной части кроны, но размещены довольно редко; 4 – хороший урожай (цветение), плоды (цветки) есть на большей части плодовых веток; 5 – отличный урожай (цветение), плоды (цветки) на всех плодовых ветках, размещены густо [9].

Результаты и обсуждения. Метеорологические условия в течение периода исследований изменялись как по месяцам, так и по годам, с существенным отклонением от среднесезонных данных [1]. Температура в период перезимовки плодовых культур (ноябрь – март) за годы исследования варьировала от -25°C (24 февраля 2020 г.) до 14,4°C (27 февраля 2020 г.). Также часто наблюдались оттепели и возвратные заморозки. Так, например, в марте 2021 года наблюдалась оттепель до 5°C в течение нескольких дней с резким снижением температуры до минус 18,7°C что привело к сильному повреждению генеративных и вегетативных частей растений. Данные по метеорологическим условиям периода исследований представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, наиболее благоприятными для роста и развития растений были 2019 и 2020 гг. без существенных понижений температуры в зимний и особенно ранневесенний периоды. 2021 и 2022 годы сложились не столь благоприятно, что не могло не сказаться на росте и особенно плодоношении деревьев абрикоса.

Сложившиеся погодные условия, как правило, оказывают существенное влияние как на все этапы роста и развития плодовых деревьев, так и на их продуктивность. В связи с этим, в зависимости от складывающихся условий, сроки прохождения фенологических фаз развития сортов абрикоса также отличались, в частности сроки начала и окончания цветения. Так, самое раннее цветение было отмечено в 2020 году, что явилось причиной более теплой погоды зимне-весеннего периода этого года и соответственно более ранним выходом из периода покоя растений абрикоса (таблицы 1, 2).

Более того, в зависимости от условий складывающегося года, изменялись не только сроки цветения, но и продолжительность периода цветения в днях. Так, в 2019 году в связи с благоприятными

погодными условиями в период выхода из покоя и цветения минимальное количество дней цветения составило 8 и было отмечено у сортов Приусадебный и Полесский крупноплодный, максимальное количество дней цветения – 10 – было отмечено у сорта Мелитопольский ранний. Более продолжительный период цветения позволяет завязаться большому количеству плодов и соответственно положительно сказывается на урожайности.

В 2022 году сорта Выносливый, Нью-Джерси и Приусадебный цвели в течение всего 6 дней, Ме-

литопольский ранний – 8 дней.

Наиболее неблагоприятным для плодоношения и развития всех сортов абрикоса стал 2021 год. Резкие перепады температур в 2021 году привели к повреждению цветковых почек и, следовательно, к существенному снижению урожая. Самый низкий показатель цветения и, соответственно, плодоношения в 2021 году наблюдался у сорта Нью-Джерси и составил всего 1 балл, что соответствует практически отсутствию урожая.

Таблица 1 – Метеорологические условия периода проведения исследований, 2019 – 2022 гг., Дубовский район, ФНЦ агроэкологии РАН

Год	Показатель температуры, осадки I		Месяц					
			II	III	IV	V	VI	
2019	°C	Min	-18,5	-14,0	-7,5	-4,0	3,6	10,8
		Max	2,0	2,0	16,5	21,0	33,2	37,2
	мм		59,8	7,5	46,7	21,8	50,4	13,9
2020	°C	Min	-11,0	-18,0	-7,8	-7,0	1,5	9,0
		Max	3,9	14,4	21,0	23,0	29,6	36,0
	мм		34,7	41,8	5,7	2,2	73,5	18,6
2021	°C	Min	-23,4	-25,0	-18,7	-1,0	4,5	10,8
		Max	5,7	9,2	10,5	24,8	32,2	36,9
	мм		48,0	18,3	37,2	33,0	32,0	46,1
2022	°C	Min	-21,1	-12,0	-17,0	-0,6	-1,2	11,0
		Max	4,5	7,5	18,5	26,0	29,0	34,0
	мм		59,6	18,7	20,4	7,0	31,7	3,7
Ср. многолетн.	°C	Min	-22,7	-23,2	-12,6	-3,1	3,9	9,2
		Max	2,6	2,9	3,4	13,2	24,2	31,3
	мм		31,1	24,2	40,9	28,0	43,4	40,1

Продолжение Таблицы 1

Год	Показатель температуры, осадки VII		Месяц					
			VIII	IX	X	XI	XII	
2019	°C	Min	10,5	5,0	0,8	-4,5	-15,5	-9,0
		Max	34,0	37,3	29,0	23,5	21,2	7,0
	мм			59,8	3,8	19,5	38,1	2,4
2020	°C	Min	12,5	7,8	3,2	-1	-11	-17
		Max	40,0	36,0	34,8	24,0	16,0	2,0
	мм			0,6	13,6	1,8	7,0	9,0
2021	°C	Min	15,0	12,0	-0,3	-2,5	-8,0	-17,0
		Max	40,0	40,5	30,8	20,2	15,0	9,0
	мм			8,3	5,1	36,4	1,9	36,0
2022	°C	Min	9,0	19,0	6,0	1,0	-5,0	-
		Max	36,0	39,0	35,0	27,0	13,0	-
	мм			24,0	18,0	15,9	46,1	16,0
Ср. многолетн.	°C	Min	12,2	9,6	3,1	-3,9	-9,2	-16,9
		Max	35,9	36,7	31,5	21,8	12,1	6,1
	мм			26,6	21,2	31,1	28,0	20,1

Таблица 2 – Фенологические фазы развития сортов абрикоса за 2019 – 2022 гг., ФНЦ агроэкологии РАН

Сорт	Год	Даты цветения		Степень цветения, балл	Степень плодоношения, балл	Подмерзание	
		Начало	Конец			Балл	%
Выносливый	2019	15.04	23.04	5	4	1	5
	2020	09.04	17.04	5	4	1	7
	2021	26.04	3.05	2	2	1	7
	2022	18.04	23.04	5	3	2	10
Мелитопольский ранний	2019	12.04	21.04	5	4	1	5
	2020	09.04	16.04	5	4	2	12
	2021	26.04	4.05	2	1	2	15
	2022	16.04	23.04	5	4	1	5
Нью-Джерси	2019	13.04	21.04	4	4	2	15
	2020	09.04	16.04	4	4	1	9
	2021	26.04	3.05	1	1	3	40
	2022	16.04	21.04	3	2	3	35
Полесский крупноплодный	2019	15.04	22.04	5	4	1	5
	2020	12.04	20.04	5	4	1	5
	2021	26.04	4.05	4	3	2	10
	2022	16.04	23.04	5	4	2	10
Приусадебный	2019	15.04	22.04	5	4	1	6
	2020	09.04	17.04	5	4	2	13
	2021	26.04	04.05	2	1	2	13
	2022	18.04	23.04	5	4	1	5

В наиболее неблагоприятный по метеорологическим показателям для перезимовки и выхода из периода покоя абрикоса 2021 год лучше всего показал себя сорт Полесский крупноплодный, степень цветения и плодоношения которого была отмечена на уровне 4 и 3 баллов соответственно, что позволило получить с данного сорта урожай. В остальные годы наблюдений цветение и плодоношение у всех изучаемых сортов было стабильным, без резких изменений.

У сорта Полесский крупноплодный отмечена стабильность в продолжительности цветения – 8 дней.

Показатели зимостойкости сортов абрикоса, в

зависимости от складывающихся погодных условий зимнего периода в годы изучения, имели существенное варьирование (таблица 2). Так, наименьшая зимостойкость отмечена у сорта Нью-Джерси, повреждение неблагоприятными температурами зимне-весеннего периода отмечено на уровне 2-3 баллов, что соответствует повреждению цветковых почек от 9% в 2020 году до 40% в 2021 году.

В зависимости от различий в цветении и плодоношении под влиянием метеорологических условий складывающегося года урожайность сортов абрикоса также существенно изменялась (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность сортов абрикоса за 2019-2022 годы, 2015 года посадки, схема 5×2 м, ФНЦ агроэкологии РАН

Сорт	Средний вес одного плода, г					Урожай с дерева, кг				
	2019	2020	2021	2022	Ср.	2019	2020	2021	2022	Ср.
Нью-Джерси	66,5	67,0	65,0	71,0	67,3	13,9	14,7	0,2	5,1	8,4
Выносливый	56,5	56,6	57,1	57,1	56,8	13,1	12,8	0,4	18,7	11,2
Полесский крупноплодный	60,9	61,5	59,3	59,1	60,2	20,8	21,7	9,3	31,4	20,8
Приусадебный	31,1	30,8	30,8	30,8	30,8	16,8	17,3	0,2	25,6	10,9
Мелитопольский	56,3	56,9	57,3	56,9	56,8	21,2	21,5	0,2	28,2	17,7
НСР ₀₅	2,71	2,73	2,69	2,75	2,72	0,86	0,88	0,10	1,09	0,69

В среднем урожайность сортов изменялась от 8,4 кг/дерева у Нью-Джерси до 20,8 кг/дерева у Полесского Крупноплодного. Самая низкая урожайность практически по всем сортам была от-

мечена в 2021 году от 0,2 до 0,4 кг/дерева, когда в зимне-весенний период сложились наименее благоприятные условия для перезимовки и дальнейшего выхода из покоя деревьев абрикоса. Вместе

с тем даже в этот неблагоприятный год сорт Полесский крупноплодный сохранил стабильность плодоношения и сформировал урожай 9,3 кг/дерева, что характеризует данный сорт как наиболее устойчивый к неблагоприятным погодным условиям зимнего и весеннего периода. В 2022 году все изучаемые сорта были с хорошим урожаем, за исключением сорта Нью-Джерси, у которого был отмечен низкий урожай, что говорит о его слабом адаптивном потенциале (таблица 3).

Несмотря на разницу в урожайности сортов абрикоса по годам, средний вес одного плода в пределах сорта не имел существенных различий по годам. В независимости от того, был высокий урожай или же практически отсутствовал, разница в весе плода не превышала 3-5%, что является несущественным (таблица 3). Данный факт подтверждает стабильность качественных характеристик плодов изучаемых сортов, что является положительным признаком.

Заключение. При анализе полученных данных было выявлено, что погодные условия оказывают существенное влияние на фенологию, урожайность и зимостойкость сортов абрикоса. Так, сложившиеся условия 2019-2022 гг. показали, что продолжительность цветения изменялась в зависимости от температуры этого периода. Наиболее короткий период цветения наблюдался в 2022 г. и составил по сортам 6 дней, за исключением сорта Полесский крупноплодный, период цветения которого не изменялся под действием температур и проявил стабильность в продолжительности цветения.

Наиболее высокой устойчивостью к зимне-весенним погодным условиям показали себя сорта Полесский крупноплодный и Выносливый, повреждения коры, древесины, ветвей и прироста на которых не превышали 10% от общей массы дерева. Хуже всего себя проявил сорт американской селекции Нью-Джерси, показав низкую зимостойкость, отмечающуюся повреждением генеративных частей дерева до 40%. Несмотря на неблагоприятные условия перезимовки отмечалось ежегодное плодоношение всех сортов с разной степенью урожайности. Более урожайным показал себя сорт Полесский крупноплодный: от 9,3 (2021 г.) до 31,4 (2022 г.) кг/дер, самая низкая урожайность отмечалась у сорта Нью-Джерси: от 0,2 (2021г.) до 14,7 (2020г.) кг/дер.

Таким образом, по результатам исследования наиболее перспективными и устойчивыми сортами для Волгоградской области являются Полесский крупноплодный и Выносливый.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.013.88-93

Apricot Varieties Productivity in the Conditions of Volgograd Region

Ol'ga A. Nikol'skaya[✉], K.S-Kh.N., Senior Researcher, ORCID 0000-0002-1337-7101;

Andrej V. Solonkin, D.S-Kh.N., Leader Researcher, ORCID 0000-0002-1576-7824;

Galina V. Kas'yanova, laboratory assistant-researcher –

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS),
e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Литература:

1. Архив погоды в Волгограде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pogodaiklimat.ru.html>
2. Гасанова Т.А. Зимостойкость видов и сортов абрикоса в условиях предгорий Северного Кавказа / Хранение и использование генетических ресурсов садовых и овощных культур: сб. тез. докл. и сообщ. междунар. нач.-практ. конф. 19-21 авг. 2015 года / Крымская ОСС ВИР – Крымск, 2015. С. 19-21.
3. Гасымов Фирудин Мамедага Оглы Изучение сортов абрикоса по компонентам зимостойкости в полевых условиях южного Урала // Материалы международной научной конференции. 2017. С. 94-99.
4. Дорошенко Т.Н., Захарчук Н.В., Максимцов Д.В. Устойчивость плодовых и декоративных растений к температурным стрессорам: диагностика и пути повышения. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014-174 с.
5. Киктева Е.Н., Солонкин А.В., Никольская О.А. Зимостойкость абрикоса в условиях Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2021. 1(112). С. 48-53.
6. Корзин В.В. Анализ развития и современного состояния культуры абрикоса в мире и Российской Федерации // Садоводство и виноградарство. 2019. № 6. С. 35-41.
7. Куликов И.М., Минаков И.А. Проблемы и перспективы развития садоводства в России // Садоводство и виноградарство. 2018. № 6. С. 40-46.
8. Ноздрачева Р.Г. Абрикос. Технология выращивания. – Воронеж: Издательский дом «Социум», 2013. С. 5-9.
9. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, ВНИИСПК, 1999.
10. Резвякова С. В. Зимостойкость садовых культур различного эколого-географического происхождения (обзор) // Биология в сельском хозяйстве. 2017. 1(14). С. 12-19.
11. Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография. – Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2017. 282 с.
12. Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве / Егоров Е.А., Еремин Г.В., Бандурко И.А. [и др.] / Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. 569 с.
13. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинко О.В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформротех», 2019. – 88 с.
14. Солонкин А.В., Никольская О.А., Киктева Е.Н. Изучение компонентов зимостойкости сливы различного происхождения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020 г. № 2 (58). С. 95-104.
15. Solonkin A., Nikolskaya O., Semichenko E. The effect of low-growing rootstocks on the adaptability and productivity of sour cherry varieties (prunus cerasus l.) in arid conditions. Horticulturae. 2022. T. 8. № 5.
16. Gorina V., Korzin V. Long-term investigation results of low temperatures influence on apricot generative buds. Acta Horticulturae. 2016. T. 1139. С. 363-367. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1139.63. EDN: XFMRUR

Abstract. The formation and growth of fruits takes place in constantly changing weather conditions, which often leads to a decrease in the effectiveness of agrotechnological measures aimed at obtaining stable and sustainable yields of fruit crops. In recent decades, the climatic conditions of the Volgograd region have changed a lot, which has led to a reduction in fruit plantations of such a valuable crop as apricot. Due to the frequent recurrent frosts, sudden temperature changes during the day and at night, as well as prolonged thaws in winter, some apricot varieties have a death of the aboveground part of up to 70%, and often complete death of the tree. In order to study the our region meteorological conditions influence on the fruiting of apricot varieties of various origins, the following varieties were planted in 2015 on the experimental research territory of the Laboratory of Breeding, Seed production and nursery breeding of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: "Vynosliviy", "Preusadebnyj", "Polessky" large-fruited, "New Jersey" and "Melitopolskij" early. Each variety showed a different percentage of damage as a result of overwintering 2018-2022. A higher winter hardiness and yield was shown by the "Polessky" large-fruited variety, which yielded a harvest even in very lean year (2021) 9.3 kg of fruit from one tree.

Keywords: apricot, winter hardiness, productivity, variety, yield, freezing, fruiting

Received: 03.10.2022

Accepted: 06.12.2022

Translation of Russian References:

1. Weather Archive in Volgograd [Electronic resource]. Access mode: <http://pogodaiklimat.ru.html>
2. Gasanova T.A. Zimostojkost' vidov i sortov abrikosa v usloviyakh predgorij Severnogo Kavkaza [Winter hardiness of apricot species and varieties in the foothills of the North Caucasus conditons]. Khranenie i ispol'zovanie geneticheskikh resursov sadovykh i ovoshchnykh kul'tur [Storage and use of garden and vegetable crops genetic resources]: compilation of technical documents and reports of International scientific-practical conference on August 19-21, 2015. Krymsk EBS, Branch of VIR Publishment. Krymsk, 2015. pp. 19-21.
3. Gasymov F.M.O. Izuchenie sortov abrikosa po komponentam zimostojkosti v polevykh usloviyakh yuzhnogo Urala [The study of apricot varieties by components of winter hardiness in the field conditions of the southern Urals]: Materials of the international scientific conference. 2017. pp. 94-99.
4. Doroshenko T.N., Zakharchuk N.V., Maksimov D.V. Ustojchivost' plodovykh i dekorativnykh rastenij k temperaturnym stressoram: diagnostika i puti povysheniya [Resistance of fruit and ornamental plants to temperature

stressors: diagnostics and ways to increase]. Krasnodar: Kuban SAU Publ. house, 2014. 174 p.

5. Kikteva E.N., Solonkin A.V., Nikol'skaya O.A. Zimostojkost' abrikosa v usloviyakh Volgogradskoj oblasti [Winter hardiness of apricot in the Volgograd region conditions]. Nauchno-agronomicheskij zhurnal [Scientific Agronomy Journal]. 2021. 1 (112). pp. 48-53.

6. Korzin V.V. Analiz razvitiya i sovremennogo sostoyaniya kul'tury abrikosa v mire i Rossijskoj Federatsii [Analysis of the development and current state of apricot culture in the world and the Russian Federation]. Sadovodstvo i vinogradarstvo [Horticulture and viticulture]. 2019. 6. pp. 35-41.

7. Kulikov I.M., Minakov I.A. Problemy i perspektivy razvitiya sadovodstva v Rossii [Problems and prospects of horticulture development in Russia]. Sadovodstvo i vinogradarstvo [Horticulture and viticulture]. 2018. 6. pp. 40-46.

8. Nozdracheva R.G. Abrikos. Tekhnologiya vyrashchivaniya [Apricot. Cultivation technology]. Voronezh. «Sotsium» Publ. house. 2013. pp. 5-9.

9. Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur [Fruit, berry and nut crops variety study program and methodology]. Orel. VNIISPK Publ. House. 1999.

10. Rezvyakova S.V. Zimostojkost' sadovykh kul'tur razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya (obzor) [Winter hardiness of garden crops of various ecological and geographical origin (review)]. Biologiya v sel'skom khozyajstve [Biology in agriculture]. 2017. 1 (14). pp. 12-19.

11. Sovremennye metodologiya, instrumentarij otsenki i otbora selektsionnogo materiala sadovykh kul'tur i vinograda [Contemporary methodology, tools for evaluation and choosing of garden crops and grapes breeding material]. Krasnodar. FSBSI NCF SCHV Publ. house. 2017. 282 p.

12. Egorov E.A., Eremin G.V., Bandurko I.A. et al. Sovremennye metodologicheskie aspekty organizatsii selektsionnogo protsessa v sadovodstve i vinogradarstve [Contemporary methodological aspects of the organization of the selection process in horticulture and viticulture]. Krasnodar. Publ. house. 2012. 569 p.

13. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Kondrat'eva O.V., Fedorov A.D., Slin'ko O.V. Analiz sostoyaniya i perspektivnye napravleniya razvitiya pitomnikovodstva i sadovodstva [The state and promising directions of nursery and horticulture development analysis]: scientific analysis review. M. FGBNU «Rosinformagrotekh» Publ. house. 2019. 88 p.

14. Solonkin A.V., Nikol'skaya O.A., Kikteva E.N. Izuchenie komponentov zimostojkosti slivy razlichnogo proiskhozhdeniya [Winter hardiness components of plums of various origin study]. Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of the Lower-Volga agrouniversity complex: Science and higher professional education]. 2020. 2 (58). pp. 95-104.

Цитирование. Никольская О.А., Солонкин А.В., Касьянова Г.В. Продуктивность сортов абрикоса в условиях Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 88-93. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.013.88-93

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Nikol'skaya O.A., Solonkin A.V., Kas'yanova G.V. Apricot Varieties Productivity in the Conditions of Volgograd Region. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 88-93. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.013.88-93

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Использование солей и наночастиц серебра для поверхностной стерилизации семян ячменя перед проращиванием *in vitro*

Желтова Анастасия Александровна, к.м.н., в.н.с., ORCID 0000-0002-8078-6407;

Попова Анна Сергеевна, м.н.с., ORCID 0000-0002-5983-4080;

Зайцев Валерий Геннадьевич , zaitsev@vfanc.ru, к.б.н., в.н.с., ORCID 0000-0001-9191-2862, зав.лаб. –
Лаборатория молекулярной селекции –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), info@vfanc.ru, 400062, пр. Университетский, 97, Волгоград, Россия

*В настоящее время отсутствует оптимальная методика стерилизации семян ячменя, позволяющая обеспечить максимально возможную степень их стерильности и сохранить их жизнеспособность для проращивания и дальнейшей инициации культуры *in vitro*. Целью нашей работы была оценка возможности использования растворимых солей серебра и наночастиц серебра, полученных с использованием экстрактов фармакопейных лекарственных растений, для поверхностной стерилизации семян ячменя перед проращиванием *in vitro* на стерильной среде Мурашиге-Скуга. Результаты показали, что стерилизация семян ячменя 3% H_2O_2 в течение 15 минут является неэффективной. Обработка семян в течение 30 минут серебряными наночастицами, полученными с использованием растительных экстрактов чабреца, шалфея, эхинацеи и эвкалипта, не обеспечила стерильности проростков. Стерилизация семян ячменя 1% $AgNO_3$ в течение 30 минут позволила получить максимальную степень обеззараживания, но недостаточно высокую всхожесть. Уменьшение времени обработки до 15 минут повысило всхожесть семян при сохранении максимальной стерильности. Для стерилизации семян ячменя наиболее оптимален 0,14% $AgNO_3$, обеспечивающий высокую степень стерильности при сохранении высокой всхожести.*

Ключевые слова: поверхностная стерилизация семян, культура растений *in vitro*, *Hordeum vulgare*, серебряные наночастицы, зеленая химия.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, тема № 0508-2019-0038 «Создание новых генотипов сельскохозяйственных растений с заданными признаками с применением молекулярных маркеров».

Поступила в редакцию: 10.08.2022

Принята к печати: 03.11.2022

Культуры растений *in vitro*, в частности зерновых, позволяют получить улучшенные результаты в таких областях, как исследование процессов развития растений, массовое размножение, выведение безвирусного материала, функциональное исследование генов, ускоренная селекция и разработка новых генетических вариантов с улучшенными потребительскими и агрономическими признаками [17]. Зерновые, в частности ячмень [23] и рожь [9], традиционно считаются растениями, относительно трудно вводимыми в культуру *in vitro*, в том числе из-за проблем получения стерильных эксплантов. Обеспечение стерильности эксплантов является ключевым этапом при первичной инициации культуры растений *in vitro*, причем эффективная деконтаминация не должна достигаться за счет снижения жизнеспособности эксплантов [3; 18]. Необходимость обеспечить максимальную степень обеззараживания поверхности эксплантов требует использования достаточно агрессивных антисептиков, например, хлор- и кислородсодержащих сильных окислителей, спиртов и т.д. [26]. Все эти соединения способны оказывать токсическое воздействие на клетки эксплантов и снижать их уровень приживаемости и частоту регенерации в культуре [18]. Выделение эксплантов из стерильного материа-

ла, полученного при проращивании семян растений в асептических условиях, позволяет улучшить приживаемость эксплантов [8; 6]. В этой ситуации поверхностной стерилизации подвергаются не растущие ткани растений, высокочувствительные к химическим воздействиям, а семена, которые гораздо более устойчивы к агрессивным способам стерилизации.

Тем не менее поверхностная стерилизация не является совершенно безопасной даже для семян растений [2; 4]. В частности, такие популярные антисептики, как $NaOCl$ или $HgCl_2$, способны снижать всхожесть семян ячменя [11; 22]. Определенные преимущества предоставляют многостадийные способы стерилизации, когда последовательно используются антисептики с различными механизмами действия [7]. В последнее время в качестве перспективных антисептиков рассматриваются соли и наночастицы серебра ($AgNPs$ – *Ag-nanoparticles*) [16; 20]. Ионы Ag^+ , образующиеся при растворении солей серебра в воде, давно известны как эффективный антибактериальный агент, в том числе, при поверхностной стерилизации семян злаков [5; 12; 14; 19]. Биоцидное действие $AgNPs$ связано как с длительным выделением ионов Ag^+ , так и с рядом специфических механизмов воздействия на микробные клетки [15; 16; 24]. В последнее десяти-

титетие было разработано большое число протоколов получения AgNPs с использованием методов так называемой «зеленой химии». В этом случае AgNPs синтезируются методом восстановления солей серебра соединениями природного происхождения, например, из экстрактов растений [1; 21; 25]. Такой подход позволяет сделать синтез AgNPs не только экологически дружелюбным (без использования биологически опасных химических соединений), но и относительно недорогим. Более того, было показано, что использование экстрактов растений, обладающих собственной антибактериальной активностью, способно усиливать бактерицидное действие образующихся AgNPs и их стабильность в водных средах за счет модификации биологически активными веществами растительных экстрактов [10; 13].

Целью настоящего исследования была оценка возможности использования растворимых солей серебра и наночастиц серебра, полученных с использованием экстрактов фармакопейных лекарственных растений, для поверхностной стерилизации семян ячменя перед проращиванием *invitro* на стерильной среде Мурашиге-Скуга.

Материалы и методы. В данной работе исследована эффективность деконтаминации и всхожесть семян ячменя (*Hordeum vulgare* L.) ярового сорта Камышинский 23 (получен с Камышинской селекционной станции ФНЦ агроэкологии РАН, урожай 2018 года) *invitro* после поверхностной стерилизации различными агентами: 3% H_2O_2 , $AgNO_3$ в различных концентрациях, суспензиями AgNPs,

полученными с помощью растительных экстрактов, а также их комбинациями.

Экстракты растений, использованные для синтеза AgNPs, получали из фармакопейного сырья четырех видов официальных лекарственных растений: шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), чабреца или тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.), эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench.) и эвкалипта прутовидного (*Eucalyptus viminalis* Labill.). Экстракты готовились в форме настоев в соответствии с рекомендациями фармакопейной статьи ОФС.1.4.1.0018.15.

Синтез AgNPs проводили путем восстановления нитрата серебра в водной фазе растительными экстрактами в течение 1 ч при температуре 37°C. В процессе синтеза бесцветная реакционная смесь приобретала желто-коричневый цвет в результате образования AgNPs. Суммарная схема приготовления растительных экстрактов и синтеза AgNPs приведена на рисунке 1. AgNPs, полученные с использованием растительных экстрактов далее обозначали как AgNPs-Ч (экстракт чабреца), AgNPs-Ш (экстракт шалфея), AgNPs-Эх (экстракт эхинацеи) и AgNPs-Эв (экстракт эвкалипта). Для подтверждения образования AgNPs определялось наличие специфического пика, ассоциированного с поверхностным плазмонным резонансом, в спектре поглощения суспензии AgNPs, полученной на спектрофотометре Bio-Rad SmartSpec Plus (США). Размер AgNPs оценивали методом динамического светорассеяния на анализаторе Photocor Compact-Z (Россия).

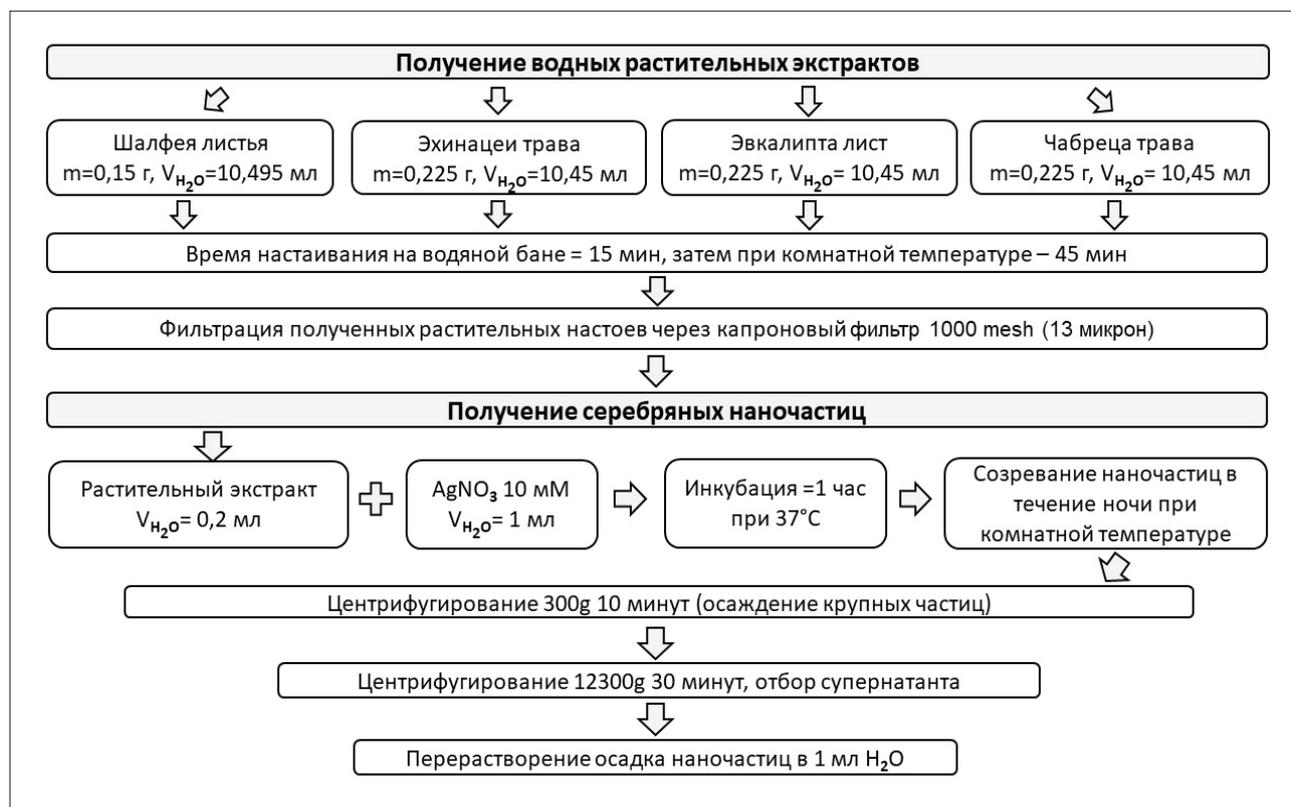


Рисунок 1. Схема приготовления растительных экстрактов и синтеза наночастиц серебра (AgNPs) с их помощью

Протокол поверхностной стерилизации семян различными исследуемыми агентами и их комбинациями приведен на рисунке 2. После окончания стерилизации семена переносили на культуральную среду Мурашиге-Скуга (без витаминов)

в чашки Петри для дальнейшего проращивания в стерильных условиях. Учет всхожести семян и эффективности деконтаминации проводили на 5-е сутки инкубации при температуре 20°C.

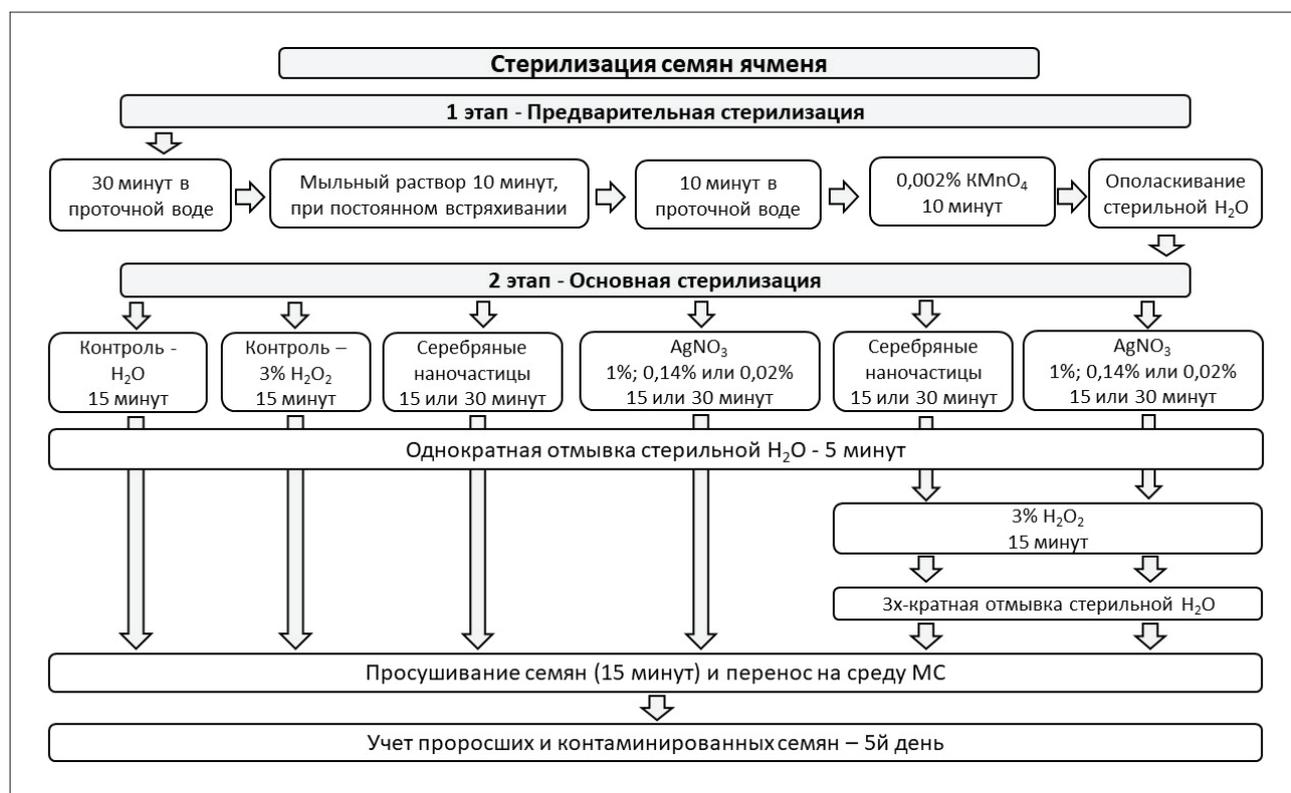


Рисунок 2. Схема протокола поверхностной стерилизации семян для сравнительного анализа различных дезинфицирующих агентов

Показатели в группах после статистической обработки выражали в виде пропорций с указанием границ 95-процентного доверительного интервала (95%ДИ). Различия пропорций между группами оценивали с помощью z-теста.

Результаты и обсуждение. Стерилизация семян ячменя обработкой 3% H_2O_2 в течение 15 мин оказалась неэффективной, поскольку на 5 день культивирования были поражены все семена – также, как и при обработке водой, использованной в качестве негативного контроля (таблица 1). Это согласуется с результатами исследования, в котором было показано полное отсутствие эффекта стерилизации семян ячменя даже после семичасовой обработки 3% H_2O_2 [19].

С использованием растительных экстрактов были получены четыре типа наночастиц: AgNPs-Ч (размер частиц 58-77 нм), AgNPs-Ш (69-70 нм), AgNPs-Эв (56-65 нм), AgNPs-Эх (32-93 нм). Суспензии всех наночастиц обладают спектрами поглощения, характерными для поверхностного плазмонного резонанса серебра, с максимумами поглощения от 427 до 462 нм. При обработке семян ячменя ни один тип наночастиц не обеспечил получения стерильных проростков ни сам по себе, ни в сочетании с последующей обработкой 3%

H_2O_2 (таблица 1). Таким образом, было показано, что эффективность стерилизации семян ячменя под действием AgNPs, H_2O_2 или их комбинаций не отличалась статистически значимо ($p > 0,05$) от отсутствия стерилизации (обработка семян стерильной водой).

Поскольку одним из основных механизмов биоцидного действия AgNPs считается высвобождение ими ионов Ag^+ , можно предполагать, что AgNPs, приготовленные с использованием экстрактов фармакопейных растений, обладают слишком низкой скоростью высвобождения ионов серебра для обеспечения эффективного бактерицидного действия. Возможным путем достижения нужного эффекта могло бы быть получение суспензии AgNPs с более высокой концентрацией серебра, что требует дополнительных исследований.

Использование $AgNO_3$ в качестве стерилизующего агента для семян ячменя описано в очень небольшом числе статей (таблица 2). Приведенные в этих работах данные об эффективности стерилизации и влиянии нитрата серебра на всхожесть семян ячменя неоднозначны. Кроме того, ни в одной из указанных работ стерилизация семян ячменя не использовалась в целях получения культуры растений *in vitro*.

Таблица 1 – Эффективность стерилизации и всхожесть семян ячменя после обработки пероксидом водорода и наночастицами серебра, полученными с помощью растительных экстрактов

Обработка	Время обработки, мин	Число семян	Процент стерильных (95%ДИ)	Процент проросших (95%ДИ)
H ₂ O (негативный контроль)	15	40	0,0 (0,0-10,9)	57,5 (41,0-72,6)
3% H ₂ O ₂	15	40	0,0 (0,0-10,9)	65,0 (48,3-79,0)
AgNPs-Эх	30	20	0,0 (0,0-20,1)	80,0 (55,7-93,4)
AgNPs-Эх + 3% H ₂ O ₂	30 + 15	20	0,0 (0,0-20,1)	75,0 (50,6-90,4)
AgNPs-Эв	30	20	0,0 (0,0-20,1)	75,0 (50,6-90,4)
AgNPs-Эв + 3% H ₂ O ₂	30 + 15	20	0,0 (0,0-20,1)	80,0 (55,7-93,4)
AgNPs-Ч	30	19	0,0 (0,0-20,1)	79,0 (53,9-93,0)
AgNPs-Ч + 3% H ₂ O ₂	30 + 15	20	0,0 (0,0-20,1)	75,0 (50,6-90,4)
AgNPs-Ш	30	20	0,0 (0,0-20,1)	90,0 (66,9-98,3)
AgNPs-Ш + H ₂ O ₂	30 + 15	20	0,0 (0,0-20,1)	55,0 (32,1-76,2)

Таблица 2 – Концентрации нитрата серебра, использованные в более ранних исследованиях для поверхностной стерилизации семян ячменя

Авторы работы	Концентрация AgNO ₃ и время обработки	Эффективность деконтаминации, %	Всхожесть семян, %	Цель деконтаминации	Источник
Hoeyetal.	0,1-0,3% 20 мин	100	94-97 (6 сут)	перед выделением ферментов	[11]
Højetal.	0,2%, 20 мин	не указано		перед выделением РНК	[12]
Munkageretal.	1%, 5 мин	83 ± 7%	52 ± 7% (7 сут)	в изучении микробиома	[19]

Несмотря на то, что AgNO₃ является эффективным стерилизующим агентом, установлено, что с увеличением концентрации AgNO₃ прослеживается заметное снижение всхожести семян [19]. Поэтому для оценки эффективности стерилизации и влияния нитрата серебра на всхожесть семян ячменя были выбраны растворы AgNO₃ трех различных концентраций: 0,02% (1,25 мМ); 0,14% (8,3 мМ) и 1% (58,8 мМ). Концентрация 1% выбрана как максимальная из использовавшихся для поверхностной стерилизации семян ячменя по литературным данным; при этом обеспечивалась хорошая степень деконтаминации при относительно невысокой всхожести [19]. Концентрация 0,14% соответствовала расчетной концентрации серебра в суспензии AgNPs. Поскольку по литературным данным AgNO₃ даже в концентрации 0,1% обла-

дал высокой эффективностью, мы дополнительно протестировали сниженную до 0,02% концентрацию для ослабления вероятного прямого эффекта Ag⁺ на семена.

Мы обнаружили, что стерилизация семян AgNO₃ без дальнейшей обработки либо с последующей обработкой 3% H₂O₂ при одинаковых концентрациях нитрата серебра и времени статистически значимо не отличались друг от друга ни по эффективности стерилизации, ни по всхожести семян (табл. 3).

Обработка семян 1% AgNO₃ в течение 30 минут обеспечивала 100% стерильность проростков, однако существенно снижала всхожесть семян ячменя. Уменьшение времени обработки до 15 минут практически двукратно повышало всхожесть семян (отличия между длительностью обработки 15 мин

и 30 мин статистически значимы, $p=0,037$) при сохранении максимальной стерильности ($p=1,0$). Полученные нами результаты сходны с описанными в [19], но мы выявили несколько более высокую эффективность стерилизующего действия. Снижение концентрации нитрата серебра с 1% до 0,02% при сохранении времени обработки (15 минут) не привело к статистически значимому увеличению всхожести (обработка 0,02% против 1% AgNO_3 , $p=0,144$), но существенно снизило эффективность стерилизации. В то же время использование промежуточной концентрации нитрата серебра (0,14%) при

длительности обработки 30 минут позволило достичь 95% стерильности, что статистически значимо не отличается от стерильности после обработки 1% AgNO_3 . Всхожесть семян ячменя при обработке 0,14% AgNO_3 оказалась статистически значимо лучше, чем при обработке 1% нитратом серебра в течение 30 мин ($p=0,002$) и статистически неотличимой от всхожести при обработке 1% AgNO_3 в течение 15 мин ($p=0,289$). Показатели эффективности обработки семян ячменя 0,14% AgNO_3 , установленные в настоящей работе, были близки к таковым для обработки 0,1-0,3% из работы [11].

Таблица 3 – Эффективность стерилизации и всхожесть семян ячменя после обработки пероксидом водорода и растворами нитрата серебра с различными концентрациями

Обработка	Время обработки, мин	Число семян	Процент стерильных (95%ДИ)	Отличия от негативного контроля, $p =$	Процент проросших (95%ДИ)	Отличия от негативного контроля, $p =$
H_2O (негативный контроль)	15	40	0,0 (0,0-10,9)	-	57,5 (41,0-72,6)	-
3% H_2O_2	15	40	0,0 (0,0-10,9)	1	65,0 (48,3-79,0)	0,4902
0,02% AgNO_3	15	20	40,0 (20,0-63,6)	<0,00001	85,0 (61,1-96,0)	0,03318
0,02% AgNO_3 + 3% H_2O_2	15 + 15	19	47,4 (25,2-70,5)	<0,00001	68,4 (43,5-86,4)	0,42372
0,14% AgNO_3	30	20	95,0 (73,1-99,7)	<0,00001	80,0 (55,7-93,4)	0,08544
0,14% AgNO_3 + 3% H_2O_2	30 + 15	20	85,0 (61,1-96,0)	<0,00001	70,0 (45,7-87,2)	0,34722
1% AgNO_3	15	20	100,0 (80,0-100,0)	<0,00001	65,0 (41,0-83,7)	0,57548
1% AgNO_3 + 3% H_2O_2	15 + 15	19	94,7 (71,9-99,7)	<0,00001	63,2 (38,6-82,8)	0,6818
1% AgNO_3	30	19	100,0 (79,1-100,0)	<0,00001	31,6 (13,6-56,5)	0,06288
1% AgNO_3 + 3% H_2O_2	30 + 15	19	100,0 (79,1-100,0)	<0,00001	52,6 (29,5-74,8)	0,72634

Хотя 30-минутная обработка семян 0,14% AgNO_3 не показывает отличий ни по одному из параметров эффективности в сравнении с 15-минутной обработкой 1% AgNO_3 (рисунок 3), использование 0,14% нитрата серебра может иметь ряд преимуществ. Во-первых, известно, что растворимые соли серебра могут проявлять определенное фитотоксическое действие в отношении побегов и корней проростков растений [27; 28]. Следовательно, использование существенно более низкой концентрации нитрата серебра поможет ослабить его вероятное токсическое действие. Кроме того, использование более низкой концентрации AgNO_3 позволит значительно снизить стоимость обработки семян.

Заключение. Полученные нами результаты показали, что обработка семян ячменя растворами нитрата серебра, в отличие от обработки

суспензией серебряных наночастиц, обеспечивает эффективную поверхностную стерилизацию семян при сохранении их высокой всхожести. Ни один из исследованных препаратов серебряных наночастиц не проявил какого бы то ни было стерилизующего действия при времени обработки до 30 минут. В данной работе впервые был проведен сравнительный анализ деконтаминирующего эффекта различных концентраций AgNO_3 . Мы продемонстрировали, что оптимальной концентрацией AgNO_3 для поверхностной стерилизации семян ячменя является 0,14%. Таким образом, результаты нашего исследования позволяют рекомендовать растворы нитратов серебра в качестве монокомпонентного антисептика для высокоэффективной поверхностной стерилизации семян ячменя без потери всхожести перед их проращиванием *in vitro*.

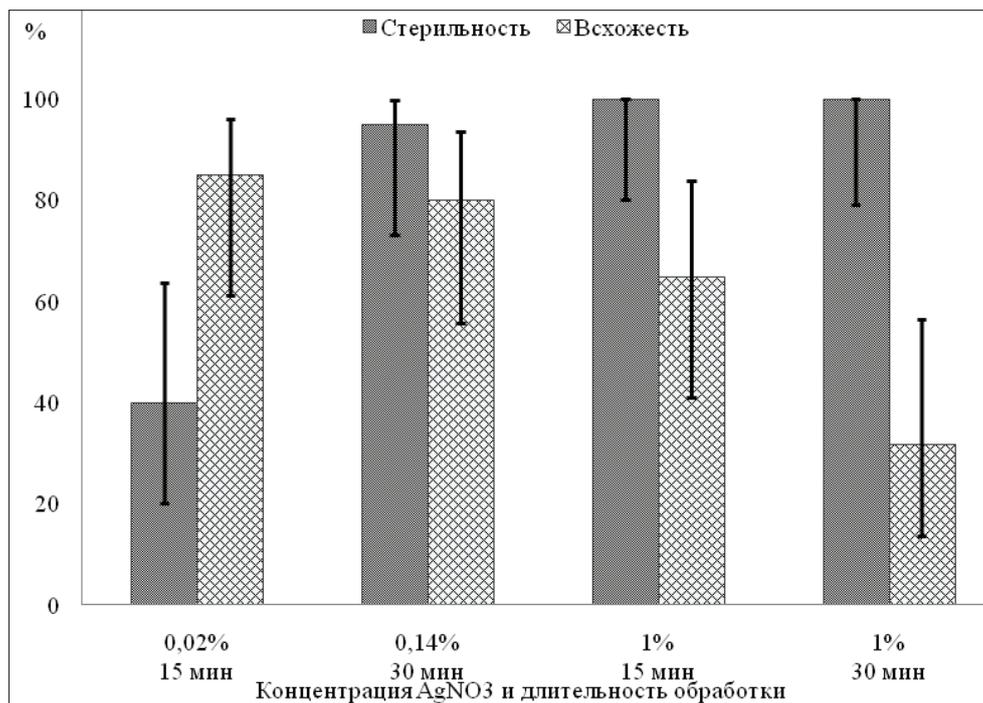


Рисунок 3. Эффективность стерилизации и всхожесть семян ячменя после обработки растворами нитрата серебра различной концентрации

Литература:

- Ahmad S., Munir S., Zeb N., Ullah A., Khan B., Ali J., Bilal M., Omer M., Alamzeb M., Salman S.M., Ali S. Green nanotechnology: a review on green synthesis of silver nanoparticles – an ecofriendly approach. *Int. J. Nanomedicine*. 2019. V.14. P.5087-5107. DOI: 10.2147/IJN.S200254.
- Akbari M., Akbari D., Sajedi N.A. Influence of sodium hypochlorite on seed germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) variety Tarum. *Res. Crops*. 2012. V.13. №1. P.11-15.
- Askari N., Wang Y.G., de Klerk G.-J. In tissue culture of *Lilium* explants may become heavily contaminated by the standard initiation procedure. *Propag. Ornament. Plants*. 2014. V.14. №2. P.49-56.
- Barampuram S., Allen G., Krasnyanski S. Effect of various sterilization procedures on the in vitro germination of cotton seeds. *Plant. Cell Tiss. Organ Cult.* 2014. V.118. P.179-185. DOI: 10.1007/s11240-014-0472-x.
- Barras F., Aussel L., Ezraty B. Silver and antibiotic, new facts to an old story. *Antibiotics* (Basel). 2018. V.7. №3. P.79. DOI:10.3390/antibiotics7030079.
- Bhadane B.S., Patil R.H. Data on the cost effective surface sterilization method for *C. carandas* (L.) seeds and callus induction from aseptic seedling. *Data Brief*. 2016. V.7. P.1551-1555. DOI: 10.1016/j.dib.2016.04.047.
- Cardoso J.C., Teixeira da Silva J.A. Gerbera micropropagation. *Biotechnol. Adv.* 2013. V.31. №8. P.1344-1357. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2013.05.008.
- Darçın E.S., Kolsarıcı Ö., Yıldız M. Establishment of efficient regeneration protocol for three rapeseed cultivars. *Biotechnol. Equip.* 2014. V.28. №1. P.21-26. DOI: 10.1080/13102818.2014.901668.
- Haliloglu K., Aydin M. Efficient regeneration system from rye leaf base segments. *Springerplus*. 2005. V.5. №1. DOI: 10.1186/s40064-016-3689-9.
- Helmy A., El-Shazly M., Seleem A., Abdelmohsen U., Salem M.A., Samir A., Rabeh M., Elshamy A., Singab A.N.B. The synergistic effect of biosynthesized silver nanoparticles from a combined extract of parsley, corn silk, and gum arabic: in vivo antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activities. *Mater. Res. Express*. 2020. V.7. 025002. DOI: 10.1088/2053-1591/ab6e2d.
- Hoy J.L., Macauley B.J., Fincher G.B. Cellulases of plant and microbial origin in germinating barley. *J. Inst. Brewing*. 1981. V.87. №2. P.77-80. DOI:10.1002/j.2050-0416.1981.tb03990.x.
- Høj P. B., Hartman D.J., Morrice N.A., Doan D.N.P., Fincher G.B. Purification of (1—3)- β -glucanendohydrolase isoenzyme II from germinated barley and determination of its primary structure from a cDNA clone. *Plant Mol. Biol.* 1989. V.13. P.31-42. DOI: 10.1007/BF00027333.
- Hussein E.A.M., Mohammad A.A.H., Harraz F.A., Ahsan M.F. Biologically synthesized silver nanoparticles for enhancing tetracycline activity against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae*. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 2019. DOI: 10.1590/1678-4324-2019180266.
- Jung W.K., Koo H.C., Kim K.W., Shin S., Kim S.H., Park Y.H. Antibacterial activity and mechanism of action of the silver ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.* 2008. V.74. №7. P.2171-2178. DOI: 10.1128/AEM.02001-07.
- Kędziora A., Speruda M., Krzyżewska E., Rybka J., Łukowiak A., Bugla-Płoskońska G. Similarities and differences between silver ions and silver in nanoforms as antibacterial agents. *Int. J. Mol. Sci.* 2018. V.19. №2. P.444. DOI: 10.3390/ijms19020444.
- Kim D.H., Gopal J., Sivanesan I. Nanomaterials in plant tissue culture: the disclosed and undisclosed. *RSC Adv*. 2017. V.7. №58. P.36492-36505. DOI: 10.1039/C7RA07025J.
- Loyola-Vargas V.M., Ochoa-Alejo N. An introduction to plant tissue culture: Advances and perspectives. *Methods Mol. Biol.* 2018. V.1815. P.3-13. DOI: 10.1007/978-1-4939-8594-4_1.
- Mahmoud S.N., Al-Ani N.K. Effect of different sterilization methods on contamination and viability of nodal segments of *Cestrum nocturnum* L. *Int. J. Res. Studies Biosci.* 2016. V.4. №1. P.4–9. DOI: 10.20431/2349-0365.0401002.
- Munkager V., Vestergård M., Prieme A., Altenburger A., Visser E., Johansen J.L., Ekelund F. AgNO₃ sterilizes grains of barley (*Hordeum vulgare*) without inhibiting germination

– A necessary tool for plant-microbiome research. *Plants (Basel)*. 2020. V.9. №3. E372. DOI: 10.3390/plants9030372.

20. Peiris M.K., Gunasekara C.P., Jayaweera P.M., Arachchi N.D., Fernando N. Biosynthesized silver nanoparticles: are they effective antimicrobials? *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*. 2017. V.112. №8. P.537-543. DOI: 10.1590/0074-02760170023.

21. Rafique M., Sadaf I., Rafique M.S., Tahir M.B. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.* 2017. V.45. №7. P.1272-1291. DOI: 10.1080/21691401.2016.1241792.

22. Ramakrishna N., Lacey J., Smith J.E. Effect of surface sterilization, fumigation and gamma irradiation on the microflora and germination of barley seeds. *Int. J. Food Microbiol.* 1991. V.13. №1. P.47-54. DOI: 10.1016/0168-1605(91)90135-C.

23. Rostami H., Giri A., Nejad A.S.M., Moslem A. Optimization of multiple shoot induction and plant regeneration in Indian barley (*Hordeum vulgare*) cultivars using mature embryos. *Saudi J. Biol. Sci.* 2013. V.20. №3. P.251-255. DOI: 10.1016/j.sjbs.2013.02.008.

24. Sarmast M.K., Salehi H. Silver nanoparticles: An

influential element in plant nanobiotechnology. *Mol. Biotechnol.* 2016. V.58. №7. P.441-449. DOI: 10.1007/s12033-016-9943-0.

25. Tarannum N., Divya, Gautam Y.K. Facile green synthesis and applications of silver nanoparticles: a state-of-the-art review. *RSC Adv.* 2019. V.9. №60. P.34926-34948. DOI: 10.1039/C9RA04164H.

26. Teixeira da Silva J.A., Winarto B., Dobranszki J., Zeng S. Disinfection procedures for in vitro propagation of *Anthurium*. *Folia Hort.* 2015. V.27. №1. P.3-14. DOI: 10.1515/fhort-2015-0009.

27. Tripathi A., Liu S., Singh P.K., Kumar N., Pandey A.C., Tripathi D.K., Chauhan D.K., Sahi S. Differential phytotoxic responses of silver nitrate (AgNO₃) and silver nanoparticle (AgNps) in *Cucumis sativus* L. *Plant Gene*. 2017. V.11B. P.255-264. DOI: 10.1016/j.plgene.2017.07.005

28. Vishwakarma K., Shweta, Upadhyay N., Singh J., Liu S., Singh V.P., Prasad S.M., Chauhan D.K., Tripathi D.K., Sharma S. Differential phytotoxic impact of plant mediated silver nanoparticles (AgNPs) and silver nitrate (AgNO₃) on *Brassica* sp. *Front. Plant Sci.* 2017. №8. P.1501. DOI: 10.3389/fpls.2017.01501.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.014.94-100

The Use of Salts And Nanoparticles of Silver for Barley Seeds Surface Sterilization Before Germination in Vitro

Anastasia A. Zheltova, K.M.N., Leader Researcher; ORCID 0000-0002-8078-6407;

Anna S. Popova, Junior Researcher, ORCID 0000-0002-5983-4080;

Valery G. Zaitsev, K.B.N., e-mail: zaitsev@vfanc.ru, Leader Researcher, ORCID 0000-0001-9191-2862, Head of Molecular Breeding Laboratory

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. Currently, there is no optimal method of barley seeds sterilization, which allows to ensure the maximum possible degree of their sterility and preserve their viability for germination and further initiation of culture in vitro. The purpose of our work was to evaluate the possibility of using soluble silver salts and silver nanoparticles obtained using extracts of pharmacopoeial medicinal plants for surface sterilization of barley seeds before germination in vitro on a sterile Murashige-Skuga environment. The results showed that sterilization of barley seeds with 3% H₂O₂ for 15 minutes is ineffective. Seed treatment for 30 minutes with silver nanoparticles obtained using plant extracts of thyme, sage, echinacea and eucalyptus did not ensure the seedlings sterility. Sterilization of barley seeds with 1% AgNO₃ for 30 minutes allowed to obtain the maximum degree of disinfection, but germination

is not high enough. Reducing the processing time to 15 minutes increased the germination of seeds while maintaining maximum sterility. For the sterilization of barley seeds, 0.14% AgNO₃ is the most optimal, providing a high degree of sterility while maintaining high germination.

Keywords: surface sterilization of seeds, plant culture in vitro, *Hordeum vulgare*, silver nanoparticles, environmentally friendly chemistry

The work was carried out within the framework of the State task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, topic No. 0508-2019-0038 "Creation of new genotypes of agricultural plants with specified characteristics using molecular markers".

Received: 10.08.2022

Accepted: 03.11.2022

Цитирование. Желтова А.А., Попова А.С., Зайцев В.Г. Использование солей и наночастиц серебра для поверхностной стерилизации семян ячменя перед проращиванием in vitro // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 94-100. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.014.94-100

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Zheltova A.A., Popova A.S., Zaitsev V.G., The Use of Salts And Nanoparticles of Silver for Barley Seeds Surface Sterilization Before Germination in Vitro. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 94-100. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.014.94-100

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Эффекты солевого стресса на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакации

София Владимировна Матвеева, м.н.с., ORCID 0000-0003-4290-2021;

Татьяна Сергеевна Бабакова, м.н.с., ORCID 0000-0002-5593-0286;

Маргарита Сергеевна Какоткина, инженер-исследователь, ORCID 0000-0002-4068-0552;

Наталья Петровна Фефелова, инженер-исследователь, ORCID 0000-0002-8219-6291;

Алёна Александровна Васильева, лаборант-исследователь, ORCID 0000-0002-4734-5300;

Валерий Геннадьевич Зайцев[✉], zaitsev@vfanc.ru, к.б.н., в.н.с., ORCID 0000-0001-9191-2862, зав. лаб. –

Лаборатория молекулярной селекции –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info.vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

Леса в масштабах планеты обеспечивают фундаментальную защиту почвенных и водных ресурсов, поэтому важно следить за их состоянием, на которое напрямую влияют различные биотические и абиотические факторы. Один из таких факторов – солевой стресс. Засоление почвы может влиять на деревья на всех стадиях роста и развития. На данный момент площадь земель, подверженных засолению не прекращает расти. Вследствие этого важно определить степень устойчивости породы, используемой для лесоразведения, на различных стадиях роста, в том числе на ранних этапах развития. Целью данной работы являлась оценка влияния различных концентраций NaCl на всхожесть, длину, содержание пигментов и пролина робинии лжеакации, которая является одним из лучших потенциальных пород для успешного лесоразведения, а также возможности использования экзогенных соединений (24-эпибрассинолид и салициловая кислота) для повышения резистентности к солевому стрессу. Анализ полученных данных показал, что концентрации соли до 100 мМ включительно являются допустимыми для нормального развития проростков робинии лжеакации по всем исследуемым показателям, в том числе и всхожести. В группах, при поливе которых использовались растворы с концентрациями NaCl 200 мМ и выше, наблюдалось большое различие по сравнению с интактной группой по всхожести семян, но не по другим исследуемым показателям. При анализе групп с обработками фитогормонами было обнаружено, что протективного эффекта от предварительного замачивания семян в растворах эпина или салициловой кислоты нет.

Ключевые слова: абиотический стресс, засоление почвы, пигменты, пролин, резистентность к стрессу, робиния лжеакация.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ «Поиск селекционно-ценного генетического материала для создания новых генотипов древесно-кустарниковых пород методами молекулярной селекции» (регистрационный номер НИОКТР 122020100449-3).

Поступила в редакцию: 21.09.2022

Принята к печати: 06.12.2022

В наступившем тысячелетии человечество столкнулось с большим количеством экологических проблем, оказывающих существенное влияние на продуктивность земель и растительных сообществ. Одной из самых масштабных и опасных проблем стало засоление почвы, которое во многих случаях наблюдается в результате человеческой деятельности [13]. Засоление почвы приводит к потере пахотных земель и пагубно влияет на биоразнообразие территорий. Площадь земель, подверженных засолению, прогрессивно увеличивается с течением времени, так что проблема засоления может приобрести глобальные масштабы [8].

Решение проблемы может быть двоякое. Наиболее радикальный подход связан с восстановлением засоленных земель. Тем не менее это процесс длительный, поэтому другим важным аспектом является повышение эффективности использования территорий с засоленными почвами. Для этого необходимо выращивать наиболее приспособленные к солевому стрессу растения, причем

желательно такие, которые одновременно способны обеспечивать ремедиацию почвы. Поэтому количество исследований в этом направлении растёт, особое внимание уделяется хозяйственно значимым растениям [4;6].

В то же время исследований по резистентности к засолённости древесных растений, особенно на этапах прорастания, на данный момент проведено мало. Древесные растения на засоленных почвах могут быть использованы различным образом, в том числе для создания защитных лесных насаждений, однако очевидно, что для этого следует подбирать более солеустойчивые породы. Соответственно, исследование древесных растений на устойчивость к засолённости почвы на ранних этапах развития является одним из ключевых этапов отбора наиболее подходящих растений для выращивания на засоленных участках.

Солевой стресс может существенно влиять на состояние растений по причине воздействия практически на все обменные процессы. Однако раз-

личные виды могут сильно отличаться по уровню солей, при которых они еще развиваются нормальным образом: например, эрва яванская (*Aerva javanica*) является высокочувствительным даже к минимальным количествам солей, а лебеда раскидистая (*Atriplex patula*) может выдерживать засоленность почвы вплоть до концентрации солей 720 мМ. В целом солевой стресс может препятствовать прорастанию семян, а затем росту и развитию проростков [12].

Механизм развития клеточного ответа на солевой стресс не имеет принципиальных отличий от других видов абиотического стресса. Известно, что универсальным маркером абиотического стресса является содержание пролина в растительных тканях. Концентрация пролина обычно возрастает на фоне стрессовых воздействий окружающей среды [9]. Кроме того, чувствительным к солевому стрессу звеном метаболизма является фотосинтез. Ранее было показано, что общее содержание и соотношение различных фотосинтетических пигментов может меняться под действием разнообразных стрессовых факторов [10], включая соли [3].

В регуляции стрессового ответа участвуют различные фитогормоны, включая 24-эпибрассинолид и салициловую кислоту. 24-эпибрассинолид является стероидным фитогормоном, получившим широкое применение благодаря стимуляции роста и генеративного развития растений, а также повышению их стрессоустойчивости [1]. Салициловая кислота в свою очередь участвует во многих физиологических процессах растительных организмов, в том числе прорастании семян, регуляции роста и ответных реакций в условиях биотического или абиотического стресса [7].

В нашей работе объектом исследования стала

робиния лжеакация – быстрорастущий древесный вид с сильной приспособляемостью к засушливым территориям, что является преимуществом в выборе данного вида для использования в защитном лесоразведении и возможности повышения резистентности растения к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Целью настоящего исследования была оценка эффекта различных концентраций NaCl на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакалии и возможности повышения стрессоустойчивости проростков под действием фитогормонов 24-эпибрассинолида и салициловой кислоты.

Материалы и методы. Биологическим материалом служили семена робинии лжеакалии *Robinia pseudoacacia* L., собранные в Нижнем Чире (Суриковинский район Волгоградской области России) осенью 2021 года.

Для оценки влияния засоления на всхожесть и ранние этапы развития робинии лжеакалии семена проращивали при поливе растворами с различными концентрациями NaCl в диапазоне от 10 до 300 мМ. Группу интактных растений поливали дистиллированной водой.

Для оценки возможности повышения резистентности к стрессу такими фитогормонами, как 24-эпибрассинолид (12,5 мкг/л) и салициловая кислота (50 мкМ), производили обработку семян раствором 24-эпибрассинолида (конечная концентрация 12,5 мкг/л, препарат Эпин-экстра, Нэст М) и раствором салициловой кислоты (конечная концентрация 0,05 мМ) в группе интактных растений и в опытных группах с поливом растворами NaCl с концентрациями NaCl 100 и 250 мМ. Опытные группы с указанием обработки (таблица 1).

Таблица 1 – Группы семян с различными концентрациями NaCl

№ группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кон-ция NaCl, мМ	0			10	25	50	100			200	250			300
Р-р для замачивания семян	вода	эпин	СК	вода			вода	эпин	СК	вода	вода	эпин	СК	вода

Подготовка и посев семян. Семена были скарифицированы путем кратковременной обработки кипящей водой. Для оценки возможного протективного эффекта фитогормонов одна часть семян замачивалась в воде, вторая – растворе эпина (24-эпибрассинолида), третья – растворе салициловой кислоты (0,05 мМ) в течение 3 часов при температуре 20-25°C (см. таблицу № 1). После скарификации и замачивания семена высевали в кассеты размером 16×9 лунок, каждая из которых была заполнена 25 мл смеси равных частей перлита и вермикулита, по 2 семени в каждую лунку. Семена высевались в субстрат на глубину 10 мм. Всего в опыте было использовано 756 семян (54 семени на каждую группу из табл. 1).

Полив субстрата производили соответствующими

солевыми растворами NaCl по 5 мл на лунку при каждом поливе. Полив производился через один день дистиллированной водой, а обработка солевыми растворами раз в 5 дней в течение первых 15 дней выращивания. Начиная с 16-го дня эксперимента, после появления у проростков истинных листьев, для полива использовался солевой питательный раствор Хогланда (101 г/л 2М KNO₃; 236 г/л 1М Ca(NO₃)₂·4H₂O; 68 г/л 1М KH₂PO₄; 6 г/л 4 NaFeEDTA (10% Fe); 246,5 г/л 1М MgSO₄·7H₂O; 80 г/л 1М NH₄NO₃; 28,6 г/л H₃BO₃; 26,9 г/л MnSO₄; 2,2 г/л ZnSO₄·7H₂O; 0,51 г/л CuSO₄·5H₂O; 1,2 г/л Na₂MoO₄·2H₂O). Проростки выращивали в течение 45 дней от момента посева, после чего они использовались для анализов.

Определение всхожести. Подсчет всхожести се-

мян производился каждый день со дня посева в течение 10 дней. На 10-ый день определялась общая всхожесть (в соответствии с ГОСТ 13056.6-97) [2]. По ежедневным подсчетам всхожести строился точечный график, на котором отображалась динамика всхожести.

Определение длины проростков. Через 45 дней после посева проводили анализ длины и количественный анализ пигментов и пролина. Для этого сначала проростки аккуратно извлекали из субстрата, раскладывали на ровную пронумерованную поверхность, фотографировали для дальнейшего анализа общей длины каждого проростка с помощью программного обеспечения ImageJ.

Определение содержания пигментов. Для определения пигментов взвешивали образцы (масса до 0,025 г) и фиксировали точные результаты в таблицу, помещали в микроцентрифужные пробирки объемом 1,5 мл, добавляли к образцам 0,45 мл диметилсульфоксид (ДМСО) и инкубировали 15 мин при 65°C, после чего пробирки с образцами остужали до комнатной температуры и определяли оптическую плотность образцов на трех длинах волн одновременно: 480, 649 и 665 нм – и проводили расчет по формулам [11, 14]:

$$1. \text{ Total chlorophyll} = \frac{18,54 \times A_{649} + 6,87 \times A_{665}}{1250 \times m} \quad (1)$$

$$2. \text{ Chlorophyll A} = \frac{12,19 \times A_{665} - 3,45 \times A_{649}}{1250 \times m} \quad (2)$$

$$3. \text{ Chlorophyll B} = \frac{21,99 \times A_{649} - 5,32 \times A_{665}}{12m} \quad (3)$$

$$4. \text{ Carotenoids} = \frac{4,55 \times A_{480} + 1,58 \times A_{665} - 6,98 \times A_{649}}{1250 \times m} \quad (4)$$

Выделение пролина. Для извлечения пролина отбирали часть корня проростка массой 0,1 г и помещали в микроцентрифужные пробирки объемом 2 мл с 8 керамическими шариками диаметром 2 мм для гомогенизирования, добавляли 0,8 мл 100 мМ натрий-фосфатного буфера (pH 7,8), далее гомогенизировали на встряхивателе вибрационного типа (Multi-Vortex V-32, biosan) в течение 5 минут на максимальной мощности. Гомогенат затем переносили в чистые пробирки и центрифугировали 20 мин при 10000 об/мин и температуре 4°C. Надосадочную жидкость, содержащую пролин, отбирали и использовали для дальнейшего анализа.

Определение содержания пролина в корнях. Для количественного измерения пролина готовился рабочий реагент, состоящий из 10 мл 3% сульфосалициловой кислоты, 10 мл уксусной ледяной кислоты, 20 мл 2,5% раствора хромогена (нингидрин). Рабочий реагент в объеме 0,1 мл добавляли к 0,05 мл образцу, извлеченному из корней проростков, и хорошо перемешивали. Холостая проба содержала рабочий реагент с 0,05 мл 100 мМ фосфатного буфера (pH 7,8) вместо исследуемого образца. Образ-

цы, смешанные с реагентом, нагревали в термостате при 95°C в течение 15 мин, далее охлаждали при 0°C в течение 10 мин и центрифугировали при 10000 об/мин 20 мин при 4°C [5].

Образцы, содержащие пролин, приобретали красный цвет. Оптическая плотность определялась при длине волны 520 нм. Калибровочный график строился с использованием растворов пролина в диапазоне концентраций 0,04-0,70 мМ.

Статистический анализ данных. После статистической обработки выборочные данные были представлены в форме медианы с указанием границ 95% доверительного интервала (95%ДИ). Для определения статистически значимых различий между группами по исследуемым количественным показателям использовался тест Краскала-Уоллиса с последующим анализом (post-hoc) по Данну с коррекцией множественных сравнений по Сидуку с помощью программы Microsoft Excel с надстройкой Xrealstats.

Результаты и обсуждение. Солевой стресс вызывал снижение всхожести семян робинии лжеакамии только при относительно высоких концентрациях соли (рисунок 1). При любой из исследованных концентраций NaCl всхожесть была статистически значимо ниже, чем у семян, обработанных дистиллированной водой (таблица 2). В то же время в диапазоне концентраций 10-100 мМ NaCl не было обнаружено значимых отличий между какими-либо группами. С другой стороны, изменение концентрации NaCl в поливочном растворе с 100 до 200 мМ вызывало резкое (более чем в 2 раза) статистически значимое снижение всхожести. Однако увеличение концентрации соли до 250 или 300 мМ дальнейшего статистически значимого уменьшения величины всхожести не вызывало. Таким образом, полученные нами результаты позволяют предположить, что наиболее существенные изменения в способности семян робинии к прорастанию происходят при уровне засоленности между 100 и 200 мМ NaCl. Вероятно, при концентрации около 200 мМ NaCl происходит нарушение функциональной активности ответа на стресс и (или) истощение защитных систем, что и могло бы объяснить наблюдаемые нами эффекты.

Дополнительная обработка семян 24-эпибрасинолидом или салициловой кислотой при концентрации соли 0 и 250 мМ не приводила к улучшению всхожести в сравнении с семенами без обработки фитогормонами. При концентрации соли 100 мМ салициловая кислота даже дополнительно снизила всхожесть семян, хотя 24-эпибрасинолид не оказал какого-либо эффекта.

Интересно обратить внимание на динамику всхожести семян (рисунок 2). У семян робинии в группах с умеренными концентрациями NaCl (25 мМ, 50 мМ и 100 мМ) всхожесть к 10-му дню после посева была статистически неотличима от семян с поливом 10 мМ соли. В то же время всхожесть семян робинии в первые 5 дней после посева была тем ниже, чем выше была концентрация NaCl.

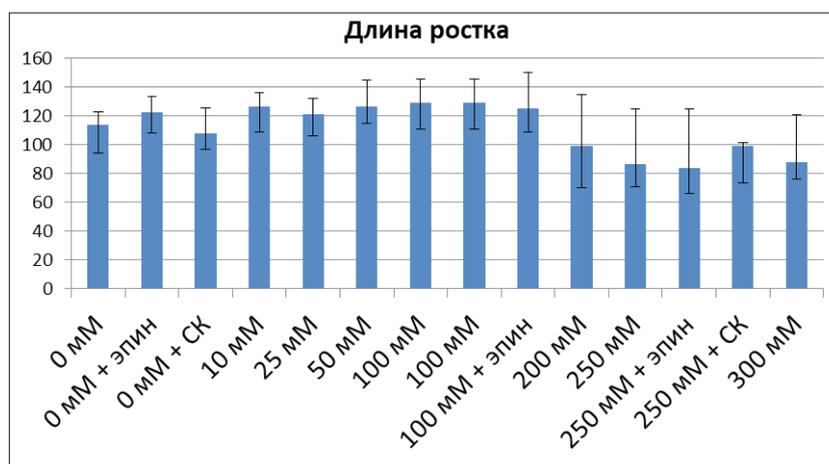


Рисунок 1. Количество взошедших семян робинии лжеакации (%) в условиях, моделирующих солевой стресс (различные концентрации NaCl)

Таблица 2 – Результаты статистического анализа всхожести семян робинии лжеакации при выбранном уровне значимости 0,05

Варианты	0 mM + эпин	0 mM + СК	10 mM	25 mM	50 mM	100 mM	100 mM + эпин	100 mM + СК	200 mM	250 mM	250 mM + эпин	250 mM + СК	300 mM
0 mM	0,69654	0,11184	0,00672	0,00194	0,00001	0,00052	0,00006	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
0 mM + эпин	1	0,22246	0,01732	0,00544	0,00298	0,00158	0,00022	0,00001	1E-05	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
0 mM + СК	0,22246	1	0,22246	0,09894	0,06432	0,04036	0,00854	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
10 mM	0,01732	0,22246	1	0,65994	0,5157	0,38978	0,1443	0,00158	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
25 mM	0,00544	0,09894	0,65994	1	0,83366	0,67448	0,30302	0,00614	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
50 mM	0,00298	0,06432	0,5157	0,83366	1	0,83366	0,41222	0,01108	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM	0,00158	0,04036	0,38978	0,67448	0,83366	1	0,54186	0,01928	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM + эпин	0,00022	0,00854	0,1443	0,30302	0,41222	0,54186	1	0,08186	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
100 mM + СК	0,00001	0,00001	0,00158	0,00614	0,01108	0,01928	0,08186	1	0,0083	0,00424	0,00016	0,00094	0,00038
200 mM	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0083	1	0,81034	0,20766	0,4654	0,32218
250 mM	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00424	0,81034	1	0,30302	0,61708	0,44726
250 mM + эпин	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00016	0,20766	0,30302	1	0,5892	0,77948
250 mM + СК	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00094	0,4654	0,61708	0,5892	1	0,79486

Примечания: Зеленым цветом отмечены пересечения групп со статистически значимыми отличиями между собой. Различия пропорций между группами оценивали с помощью z-теста

Мы полагаем, что слабый и умеренный солевой стресс вызывает, в первую очередь, не снижение всхожести семян, а задержку начала их прорастания. При более высоких концентрациях NaCl задержка в прорастании была заметна еще сильнее: семена этих групп начали всходить только на 6-й день после посева.

Размер проростков под действием солевого стресса изменяется значительно слабее, чем показатели всхожести (рисунок 3). Статистически значимые различия в длине проростков были вы-

явлены только между группами семян, подвергнутых воздействию растворов NaCl с концентрациями 100 mM и 250 mM ($p = 0,0008$).

Результаты анализа метаболических маркеров стресса показали неоднозначные эффекты солевого стресса. В частности, медианные значения содержания пролина в корнях проростков возрастали с увеличением концентрации NaCl до 100 mM в воде для полива, но с концентрации NaCl 200 mM наблюдалось снижение медианных величин содержания пролина (рисунок 4).

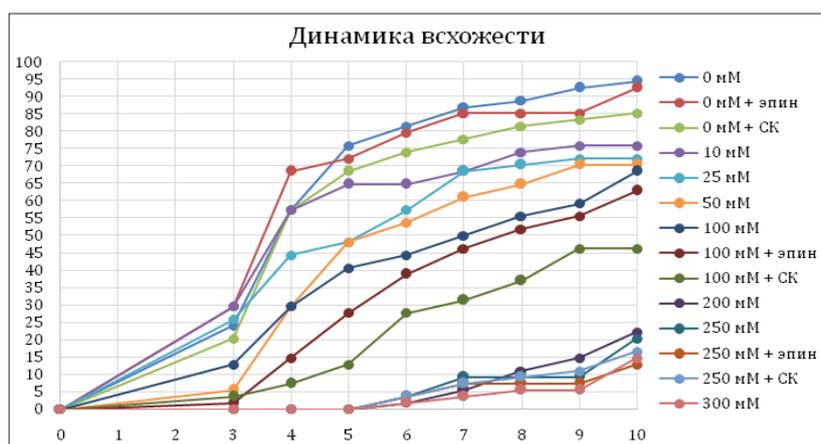


Рисунок 2. Динамика всхожести семян робинии лжеакации (%) в условиях, моделирующих солевой стресс (различные концентрации NaCl), в течение первых десяти дней после посева

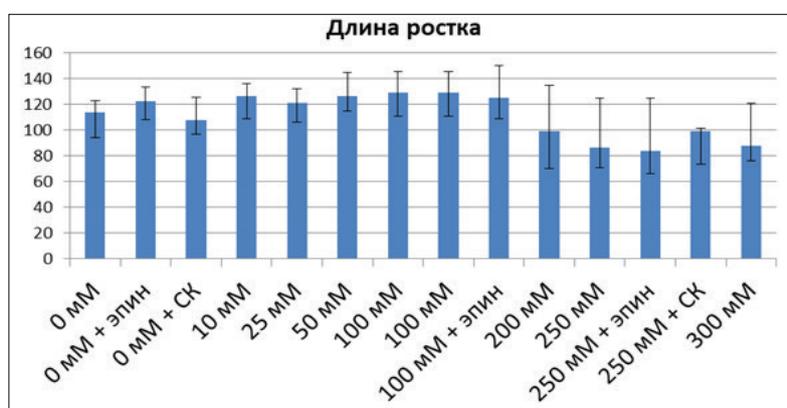


Рисунок 3. Длина проростков робинии лжеакации (мм), выращенных при поливе растворами NaCl различной концентрации, в том числе при обработке фитогормонами 24-эпибрассинолидом (эпин) и салициловой кислотой (СК)

В то же время между большинством групп не удалось выявить статистически значимых отличий, что связано, по-видимому, с очень высокой вариабельностью данного показателя. Мы предполагаем, что при высоких концентрациях NaCl (200 мМ и выше) наблюдается истощение функциональной активности защитных систем, отвечающих на стресс, и угнетение физиологических процессов в проростках. Обработка семян фитогормонами 24-эпибрассинолидом и салициловой кислотой не влияла на содержание пролина в корнях проростков.

При анализе содержания пигментов нами не было выявлено каких-либо достоверных отличий между группами ни в общем содержании хлорофилла, ни в соотношении содержания форм хлорофилла (а и b). Единственное статистически значимое отличие было ассоциировано со способностью салициловой кислоты повышать содержание хлорофилла в группе интактных семян ($p = 0,0002$).

В отличие от хлорофиллов изменение содержания каротиноидов продемонстрировало наличие двухфазного эффекта. У семян, подвергнутых воздействию различных концентраций NaCl, наблюдалась тенденция к постепенному повышению содержания каротиноидов в диапазоне концентраций NaCl от 10 до 100 мМ и некоторое снижение содержания каротиноидов при поливе семян 200-

300 мМ NaCl (рисунок 5).

Такая динамика в определённой степени напоминала изменения содержания пролина в зависимости от выраженности солевого стресса, однако ответ на вопрос о причине сходства изменений в содержании пролина и каротиноидов требует проведения дополнительных исследований. Возможно, что именно при концентрациях NaCl 50-100 мМ наблюдается наибольшая активация защитных механизмов стрессового ответа, а при концентрациях NaCl 200 мМ и выше функциональная активность ответа на стресс становится непропорционально слабее интенсивности действия стрессового фактора (состояние дистресса).

Примечательно, что эффект фитогормонов на содержание каротиноидов зависел от выраженности солевого стресса. В контрольной группе (0 мМ NaCl) при обработке салициловой кислотой содержание каротиноидов было ниже, чем в семенах без обработки фитогормонами ($p = 0,0018$) или в семенах после обработки эпином ($p = 0,0019$). При солевом стрессе, вызванном 250 мМ NaCl, уменьшение содержания каротиноидов вызывала обработка семян эпином, но не салициловой кислотой. И, наконец, в группе с соевым стрессом, вызванным 100 мМ NaCl, ни эпин, ни салициловая кислота не вызывали статистически значимых эффектов на содержание каротиноидов.

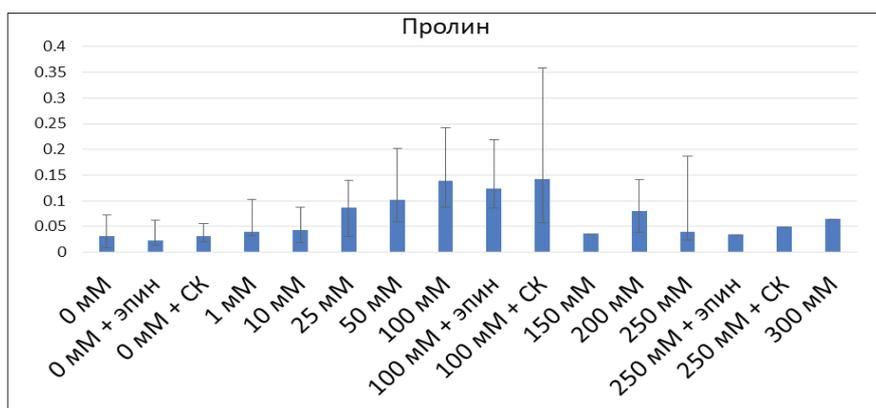


Рисунок 4. Содержание пролина в корнях проростков робинии лжеакакии (мМ), выращенных при поливе растворами NaCl различной концентрации, в том числе при обработке фитогормонами 24-эпибрассинолидом (эпин) и салициловой кислотой (СК)

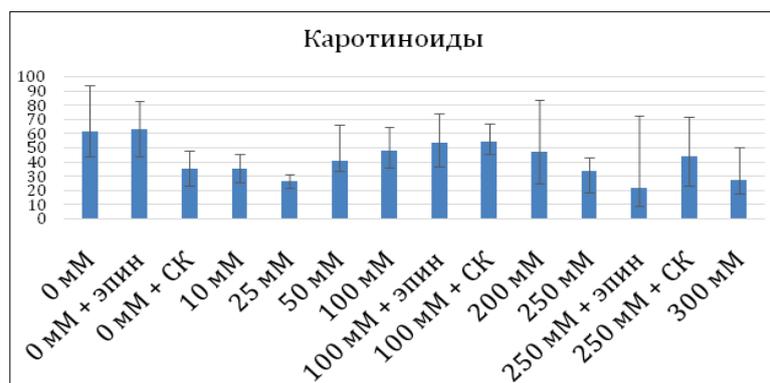


Рисунок 5. Содержание каротиноидов в проростках робинии лжеакакии (мкг/мг), выращенных при поливе растворами NaCl различной концентрации, в том числе при обработке фитогормонами 24-эпибрассинолидом (эпин) и салициловой кислотой (СК)

Заключение. Наше исследование показало, что наиболее радикальное изменение всхожести семян робинии лжеакакии наблюдается при концентрации NaCl между 100 и 200 мМ. По результатам анализа биохимических изменений можно предположить, что примерно в этом же диапазоне концентраций соли может происходить развитие дистресса, то есть формирование дисбаланса между интенсивностью стрессового фактора и активностью ответа организма на стресс. Соответственно, можно говорить, что прорастание семян и раннее развитие проростков робинии лжеакакии при обработке солью до концентрации 100 мМ не отличается существенно от интактных условий. Фитогормоны салициловая кислота и 24-эпибрассинолид не проявили заметного протективного эффекта против солевого стресса у проростков робинии лжеакакии. В то же время во многих случаях мы наблюдаем большую вариабельность величин исследуемых показателей внутри выборок, которая объясняется, в первую очередь, генетическим разнообразием. Подход, основанный на индукции контролируемого солевого стресса, может быть использован для отбора растений, обладающих наилучшей устойчивостью в условиях засоления.

Литература:

1. Будыкина Н.П., Шибаева Т.Г., Титов А.Ф. Влияние эпина экстра синтетического аналога 24-эпибрассиноли-

да на стрессоустойчивость и продуктивность растений огурца (*Cucumis sativus* L.). Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2012. №2. С. 47-55.

2. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 31 с.

3. Betzen B.M., Smart C.M., Maricle K.L., MariCle B.R. Effects of Increasing Salinity on Photosynthesis and Plant Water Potential in Kansas Salt Marsh Species. Transactions of the Kansas Academy of Science. 2019. Vol. 122(1-2). P. 49-58. DOI:10.1660/062.122.0105

4. Boutrot F., Zipfel C. Function, discovery, and exploitation of plant pattern recognition receptors for broad-spectrum disease resistance. Annual review of phytopathology. 2017. Vol. 55. P. 257-286. DOI:10.1146/annurev-phyto-080614-120106

5. Chen T., Zhang B. Measurements of Proline and Malondialdehyde Contents and Antioxidant Enzyme Activities in Leaves of Drought Stressed Cotton. Bio-protocol LLC. 2016. Vol. 6. P. 1-14. DOI:10.21769/BioProtoc.1913

6. Hu J., Rampitsch C., Bykova N. Advances in plant proteomics toward improvement of crop productivity and stress resistance. Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. P. 230-241. DOI:10.3389/fpls.2015.00209

7. Janda T., Szalai G., Pal M. Salicylic Acid Signalling in Plants. Int. J. Mol. Sci. 2020. Vol. 21(7). DOI: 10.3390/ijms21072655

8. Joseph B., D. Jini. Proteomic analysis of salinity stress-responsive proteins in plants. Asian Journal of Plant Sciences. 2010. Vol. 9. P. 307. DOI:10.3923/ajps.2010.307.313

9. Koenigshofer H., Loeppert H.G. The up-regulation

of proline synthesis in the meristematic tissues of wheat seedlings upon short-term exposure to osmotic stress. *Journal of Plant Physiology*. 2019. Vol. 237. P. 21-29. DOI:10.1016/j.jplph.2019.03.010

10. Muhammad I., Shalmani A., Ali M., Yang Q.H., Ahmad H., Li F.B. Mechanisms Regulating the Dynamics of Photosynthesis Under Abiotic Stresses. *Front. Plant Sci*. 2021. Vol. 11. DOI:10.3389/fpls.2020.615942

11. Nayek S., Choudhury I.H., Haque, Nishika J., Roy S. Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*.

2014. Vol. 4(9). P. 63-69. DOI:10.1055/s-0033-1340072

12. Quan R., Lin H., Mendoza I., Zhang Y., Cao W., Yang Y., Shang M., Chen S., Pardo J.M., Guo Y. *Plant Cell*. 2007. Vol. 19(4). P. 1415-1431. DOI: 10.1105/tpc.106.042291

13. Singh A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*. 2021. Vol. 38(3). P. 1-29. DOI:10.1111/sum.12772

14. Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. Vol. 144. P. 307-313. DOI:10.1016/S0176-1617(11)81192-2

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107

Salt Stress Effects on *Robinia Pseudoacacia* Seed Germination and Early Development Stages of Seedlings

Sofia V. Matveeva, Junior Researcher, ORCID 0000-0003-4290-2021;

Tatiana S. Babakova, Junior Researcher, ORCID 0000-0002-5593-0286;

Margarita S. Kakotkina, Research Engineer, ORCID 0000-0002-4068-0552;

Natalia P. Fefelova, Research Engineer, ORCID 0000-0002-8219-6291;

Alyona A. Vasilieva, Research Laboratory Assistant, ORCID 0000-0002-4734-5300;

Valery G. Zaitsev[✉], K.B.N., Leader Researcher, ORCID 0000-0001-9191-2862,

e-mail: zaitsev@vfanc.ru, Head of Molecular Breeding Laboratory –

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS),
e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. On a global scale, forests provide fundamental protection of soil and water resources, so it is important to monitor their condition, which is directly affected by various biotic and abiotic factors. One of these factors is salt stress. Soil salinization can affect trees at all stages of growth and development. At the moment, the area of subjected to salinization lands does not stop growing. Therefore, it is important to determine the degree of used for afforestation breed stability at various stages of growth, including the early stages of development. The aim of this work was to assess the effect of different NaCl concentrations on germination, length, pigment content and proline of robinia pseudoacacia, which is one of the best potential breeds for successful afforestation, as well as to assess the possibility of using exogenous compounds (24-epibrassinolide and salicylic acid) to increase resistance to salt stress. The obtained data analysis showed that salt concentrations up to 100 mM inclusive are acceptable for the normal development of robinia pseudoacacia seedlings in all studied indicators, including germination. In the groups where solutions with NaCl concentrations of 200 mM and higher were

used for irrigation, a large difference was observed in comparison with the intact group in seed germination, but not in other studied indicators. When analyzing groups with phytohormone treatments, it was found that there was no protective effect from pre-soaking seeds in epin or salicylic acid solutions.

Keywords: abiotic stress, soil salinization, pigments, proline, resistance to stress, *Robinia Pseudoacacia*

Received: 21.09.2022

Accepted: 06.12.2022

Translation of Russian References:

1. Budykina N.P., Shibaeva T.G., Titov A.F. *Vliyanie epina ekstra sinteticheskogo analoga 24-epibrassinolida na stressoustojchivost' i produktivnost' rastenij ogurtsa (Cucumis sativus L.)* [Influence of an extra synthetic epin analogue of 24-epibrassinolide on stress resistance and productivity of cucumber plants (*Cucumis sativus L.*)]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2012. 2. pp. 47-55.

2. GOST 13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. The method of germination determining. Minsk. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publishment, 1997. 31 p.

Цитирование. Матвеева С.В., Бабакова Т.С., Какоткина М.С., Фефелова Н.П., Васильева А.А., Зайцев В.Г. Эффекты солевого стресса на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакация // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 101-107. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Matveeva S.V., Babakova T.S., Kakotkina M.S., Fefelova N.P., Vasilieva A.A., Zaitsev V.G. Salt Stress Effects on *Robinia Pseudoacacia* Seed Germination and Early Development Stages of Seedlings. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 101-107. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Искусственный мутагенез как инструмент для получения полиплоидных форм древесных растений

Ирина Владимировна Могилевская ✉, к.б.н., в.н.с., mogilevskaya-i@vfanc.ru, ORCID 0000-0001-8421-4767;
Софья Васильевна Мельник, инженер-исследователь, ORCID 0000-0001-5802-1339 –
лаборатория биотехнологий –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), info@vfanc.ru, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97, Россия

Обзор посвящен анализу исследований российских и зарубежных ученых в области селекции древесных растений с использованием методов искусственного мутагенеза. Проанализированы работы по получению полиплоидных форм древесно-кустарниковых пород с возможностью их последующей интродукции в зоне аридного климата. Искусственное изменение плоидности с помощью химического мутагенеза приводит к увеличению или уменьшению числа набора хромосом по сравнению с растениями в исходном состоянии. В природных условиях такая модификация первоначальных форм может происходить спонтанно, иногда приводя к улучшению хозяйственно ценных признаков растений. Современные методы, основанные на достижениях биотехнологии растений, могут повысить генетическое разнообразие и ускорить процесс селекции, который будет способствовать получению устойчивых к болезням, вирусам, стрессам форм древесных пород. В статье приведены данные с середины XX века по использованию химических мутагенов для получения растений-полиплоидов с улучшенными характеристиками. Впервые уделено внимание получению полиплоидных форм древесных растений в культуре in vitro. Рассмотрены возможные способы оценки плоидности полученных древесных пород с помощью прямого подсчета хромосом или косвенно по увеличению количества хлоропластов и устьичных клеток на единицу площади листа.

Ключевые слова: селекция, химический мутагенез, полиплоидные формы, древесные растения, амитотики, колхицин, культура in vitro.

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН FNFE-2022-0008 «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro».

Поступила в редакцию: 18.10.2022

Принята к печати: 30.11.2022

Искусственный мутагенез является одним из основных источников получения материала для селекции растений. Применение различных видов излучений и химических веществ позволило исследователям создать большое количество ценных сельскохозяйственных культур и развить возможности применения мутагенеза для древесных растений.

Получение новых генотипов древесных пород с необходимыми характеристиками, а именно, с устойчивостью к различным неблагоприятным факторам окружающей среды, является актуальной задачей в рамках решения проблемы опустынивания, по данным исследователей [23], усугубившейся на территории Юга России после осенней засухи 2020 года и сложившихся засушливых условий весной 2021 года.

Целью обзора являлся анализ многолетнего опыта российских и зарубежных ученых в области использования методов химического мутагенеза для получения полиплоидных форм древесных растений, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Материалы и методы. Проведен поиск и анализ литературных источников информации и интернет-ресурсов по применению методов искусственного мутагенеза в селекции древесных растений с

использованием современных наукометрических баз данных издательства Elsevier, Российского индекса научного цитирования, научного портала Research Gate, поисковой системы Google Scholar и Scimago Journal Ranking. Поиск литературных источников осуществлен за период с 1959 по 2022 годы. Поисковые запросы выполнялись по следующим ключевым словам на русском языке: селекция, древесные культуры, полиплоидия, химический мутагенез, колхицинирование.

Основная часть. Особенности мутагенеза древесных растений.

Индукцированные мутации возникают под действием химических, физических и биологических мутагенных факторов [25]. Мутационные изменения в генетическом аппарате клетки могут происходить на трёх уровнях: генные (точечные) мутации – когда происходит замена одного нуклеотида на другой; хромосомные aberrации – их разделяют на внутрихромосомные (делеции, инверсии, дупликации, транспозиции, фрагментации) и межхромосомные (транслокации); геномные мутации связаны с изменением хромосомного набора клетки [3, 7, 16, 21]. У древесных растений проявляются соматические мутации в точках роста (меристемных клетках) – почковые мутации. Полученные с помощью искусственного мутаге-

неза новые формы и сорта хвойных и лиственных растений являются более ценными, так как они имеют высокую скорость роста, продуктивность, являются более устойчивыми к действию биотических и абиотических факторов среды и превосходят начальные формы по другим параметрам [6].

Большое количество полиплоидов обитают на краю ареалов, в экстремальных условиях, т.е. являются более приспособленными к неблагоприятным условиям среды. Это связывают с тем, что количество копий каждого гена удваивается с каждым разом полногеномной дупликации (WGD) [26, 15].

Анализ литературных источников, описывающих получение полиплоидов у древесных растений, показал, что чаще всего используются химические мутагены. Rapoport I. A. в ходе своих исследований выделил ряд химических соединений: этилуретан и производные карбаминоуксусной кислоты, акролеин, диэтилсульфаты, диазометан, нитрозометилуретан, окись этилена, этиленмин –обладающих сильным мутагенным действием. До этого открытия перечисленные вещества по механизму действия приравнивались к радиационным агентам [1]. Сегодня эту большую группу химических соединений разделяют на нуклеотид-аналоги и неаналоги. Первые вызывают мутации не сразу, а в процессе репликации и обладают небольшим спектром мутаций. Мутагены неаналогового типа являются источниками радикалов при реакциях метилирования, этилирования и т. п. в молекулы ДНК, группу данных соединений в своих исследованиях использовали отечественные ученые Privalova G. F., Shepot'eva V. F. [9, 3].

В специфичности воздействия химических веществ необходимо учитывать природу самого мутагена. Так, например, алкилирующие мутагены в умеренных дозах вступают в реакцию метилирования азотистых оснований, что может привести к изменению соотношения гетерохроматина и эухроматина в сторону увеличения первого и быть причиной появления высоко адаптивных свойств у древесных растений [24].

Искусственный мутагенез применяется в двух направлениях. При агротехническом направлении используются небольшие дозы мутагена для фенотипической модификации, что позволяет уменьшить время стратификации семян, повысить их всхожесть, улучшить ростовые процессы. Второе направление, генетико-селекционное, подразумевает использование более высоких доз мутагена для получения мутантных форм с потенциально ценными признаками [21].

Как правило, уже на начальных этапах развития полиплоидные формы древесных имеют морфологические отличия от исходных диплоидных растений. Такими признаками являются темно-зеленая окраска листьев, утолщенные черешки, увеличенное количество хлоропластов в замыкающих клетках устьиц и размеры устьичных клеток, а число их на единицу площади листа, наоборот, умень-

шено. Данные признаки являются косвенными, их нельзя считать достоверными, поэтому в литературе встречаются рекомендации оценивать число хромосом в соматических клетках и на основании этого считать окончательным подтверждение полиплоидного статуса растений [11]. В то же время исследователи Института леса НАН Беларуси (Гомель, Беларусь) и Института биоорганической химии (Пушино, Россия) считают, что возможен предварительный отбор полиплоидных клоновых линий по ряду морфологических признаков, поскольку последующий прямой подсчет числа хромосом подтверждает различие между исходными генотипами и полиплоидными или химерными формами по габитусу и скорости роста вегетативных органов [2], замечено и возрастание мезоморфности растений [20].

Еще один важный признак полиплоидных форм – замедленный рост у полученных с помощью искусственного мутагенеза растений. Такой признак чаще встречается среди хвойных пород, но может отмечаться и у лиственных. По результатам исследований [34] взрослые деревья *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh с подтвержденной полиплоидной формой оказались ниже и имели увеличенную длину волокон и сосудов по сравнению с деревьями диплоидных форм. О целесообразности использования форм с измененным набором хромосом в селекции лесных древесных пород нет единого мнения. Например, у тетраплоидов некоторых видов *Pinus*, *Larix* и *Picea*, за исключением *Cryptomeria japonica*, наблюдается снижение интенсивности роста. Для таких растений основным хозяйственным назначением является использование в качестве декоративных парковых растений.

С тех пор, как было обнаружено триплоидное дерево с высокими показателями роста и устойчивостью, целью селекции стало получение и разведение триплоидных форм. Использование искусственной полиплоидии у лесных древесных пород в нашей стране было начато в 1934 году Pjatnickij S. S., получившим полиплоидные побеги у некоторых представителей родов *Catalpa*, *Fraxinus*, *Populus* и др. Искусственное получение полиплоидных форм рода *Populus* путем колхицинирования семян впервые провели в Москве на Весело-Боковеньковской селекционно-дендрологической опытной станции, где методы искусственной полиплоидизации были апробированы на древесных растениях некоторых видов: *Populus*, *Salix*, и гибридов *Populus*, *Betula*, *Corylus*, *Ulmus*, *Fraxinus* и др. [14].

На первом этапе мутагенеза используют амитотики для получения тетраплоидных растений в качестве родительских особей, а в дальнейшем из них – триплоидные деревья. Самое большое количество положительных результатов дала обработка колхицином. Это соединение представляет собой митотический яд, действие которого заключается в связывании с тубулином, что приводит к ингибированию полимеризации микротрубочек.

Такая связь нарушает сегрегацию хромосом во время мейоза и приводит к полиплоидии у растений. Многие растения, обработанные колхицином, показали измененные морфологические характеристики, такие как: задержка роста, более толстые морфологически измененные листья [28].

Для оперативного контроля и скрининга тетраплоидов Ewald D. с соавторами использовали метод подсчета количества хлоропластов в защитных клетках эпидермиса устьиц. Как показало их исследование, различия в среднем количестве хлоропластов между растениями-диплоидами и тетраплоидами оказались весьма значительными. У всех протестированных растений, содержащих тетраплоидный набор хромосом, наблюдали увеличенное количество хлоропластов на защитную клетку по сравнению с диплоидным растением. Для определения статуса пloidности образцы растений были дополнительно проанализированы с использованием проточной цитометрии, определяющей количество ДНК. Авторы впервые показали, что использование подсчета числа хлоропластов может быть эффективным и надежным способом для предварительного скрининга большого количества растений на предмет их пloidности [28, 33].

Колхицинирование древесных культур *in vitro*.

В XXI веке с помощью методов культивирования тканей стало возможным обрабатывать большое количество кончиков клональных побегов колхицином, регенерировать новые побеги и отбирать растения с удвоенным набором хромосом *in vitro* [36, 31]. Такой вид селекции в рамках мероприятий, направленных на отбор и создание нового растительного материала для производства биомассы, обрел новое значение и для древесных растений [28].

Butova G. P. с соавторами [4] получили тетраплоиды лесных видов в культуре *in vitro* путем обработки колхицином семян *B. pendula*, а тетраплоиды различных видов и форм *Populus* были получены с помощью каллусной культуры пыльничкового и соматического происхождения. Cai X. и Kang X.Y. [27] путем обработки колхицином получили регенерацию листовых эксплантов *P. Pseudosimonii*. Han C. с соавторами [29] использовали метод полиплоидизации на сегментах побегов *Eucalyptus grandis*, Tang Z. Q. с соавторами [35] использовали для колхицинирования эмбриогенный каллус *Paulownia tomentosa* или гипокотили [30]. Mashkina O. S. и Isakov Ju. N. [12] сообщали о лучших результатах получения тетраплоидов *Populus* (*in vivo*, *in vitro*) с использованием метода культуры ткани в своих исследованиях. Li X. с соавторами получили тетраплоидные растения колхицинированием гипокотилей *Robinia pseudoacacia* L *in vitro*, при этом исследователи доказали преимущества перед диплоидными сортами в росте и стрессоустойчивости [32].

В НИИ садоводства Сибири имени М. А. Лисавенко собрали уникальный генофонд стериль-

ных диплоидных и триплоидных отборных форм *Microcerasus pumila*. Такой банк дает возможность создания нового поколения устойчивых сортов косточковых растений, пригодных для выращивания в суровых климатических условиях Сибири, Урала и северо-западной европейской зоны РФ, имеющих хорошее качество плодов и устойчивость к заболеваниям [18].

Mochalova O. V. с соавторами [13] получили полиплоидные по морфологическим признакам клоновые линии эксплантов, чему способствовала обработка верхушек зрелых микропобегов амитотиками трифлуралином и колхицином в концентрациях 0,005-0,01% и 0,01-0,02%. Их жизнеспособность отличалась в зависимости от генотипа и концентрации мутагена. При этом более 20% регенерантов исследуемых растений имели удвоенное число хромосом.

К минусам проведения искусственной полиплоидизации можно отнести возникновение растений-миксоплоидов (химер), содержащих клетки разного уровня пloidности. Их соотношение обуславливает стабильность статуса пloidности таких растений. Mashkina O. S. и Isakov Ju. N. [12] на *P. alba* и его гибридах с *P. tremula* показали, что относительно стабильными являются полиплоиды, содержащие 70-90% триплоидных и тетраплоидных клеток. В случае уменьшенного количества клеток подобного типа до 50-60% со временем наблюдалась деполиплоидизация растений, что могло полностью их вернуть на диплоидный уровень с возрастом (к 10-11 году). Tashmatova L. V. замечено, что после обработки семян 0,1% раствором колхицина в течение 24 и 48 часов полученные тетраплоиды имели нормальный рост, но отличались большими листьями, а химеры были низкими с нормальными листьями и междоузлиями [19]. Обработка такой же концентрацией колхицина семян *P. tugo*, по результатам исследований Kel'ko A. F. с соавторами, дала увеличение всхожести семян на 24% [8].

Для предотвращения появления миксоплоидных форм исследователи рекомендуют проведение работ по «расхимериванию». В естественных условиях это делают такими способами, как: срезки на пень, черенкование или прививки *in situ*, а в условиях *in vitro* можно использовать метод адвентивной регенерации [22, 11].

Xu C. с соавторами [37] для уменьшения процента миксоплоидных растений использовали обработку колхицином отобранных листовых эксплантов 5 генотипов рода *Populus*. Разрез листа на каждой из пяти стадий обрабатывали 30 мг/л колхицина в течение 3 дней. Результаты показали, что скорость образования тетраплоидов в значительной степени коррелирует со стадией развития каллуса *Populus*, и стадия 2 из 5 в развитии каллуса была оптимальной для получения тетраплоидов без образования химерных растений.

В работах по искусственной полиплоидизации нужно учитывать, что полученные таким образом

растения, как правило, мало пригодны для непосредственного использования в качестве новых сортов. Их называют иногда «сырыми полиплоидами», нуждающимися в длительной и упорной работе по созданию на их основе хозяйственно-ценных форм. В большинстве случаев индуцированные и спонтанно полученные растения служат лишь промежуточным звеном при создании новых сортов и форм растений [17].

В лаборатории биотехнологии ФНЦ агроэкологии РАН ведется работа по добавлению мини-

мальных концентраций колхицина в питательные среды *in vitro* с целью получения устойчивых к аридному климату генотипов с последующей адаптацией в нестерильных условиях и использования полученных полиплоидных форм как альтернативного варианта древесным насаждениям в связи с большим процентом зараженности, например, у *R. pseudoacacia* L. [5]. Модельными объектами для проведения данного исследования являются *Cotinus coggygria* Scop, *Caragana pygmaea* L, *R. pseudoacacia* L. (рис.).

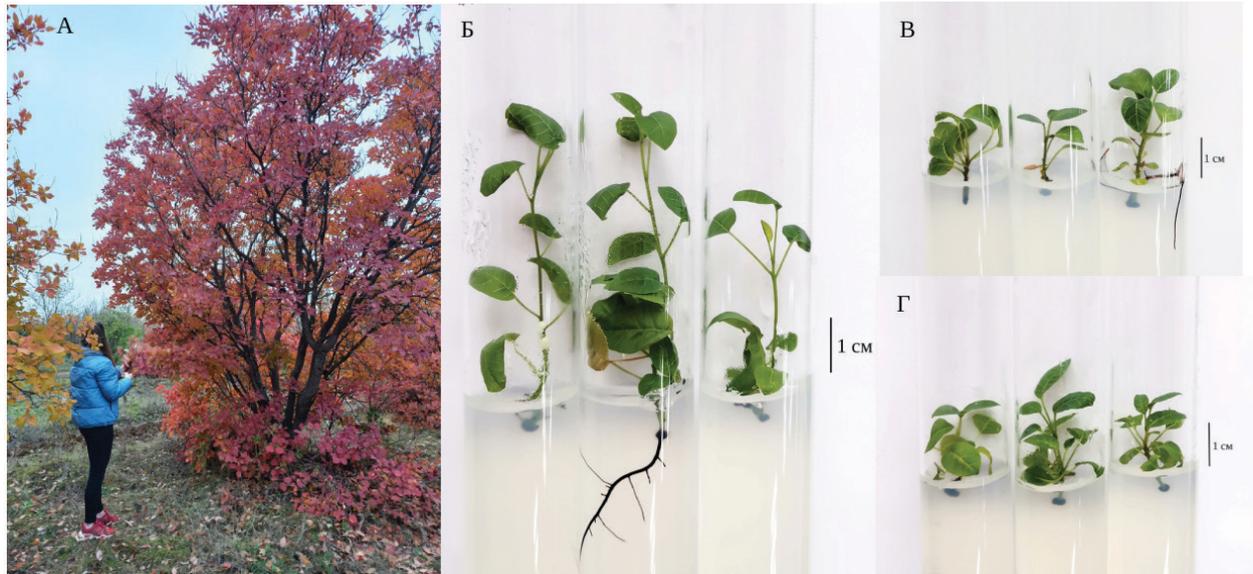


Рисунок. Работа по проведению искусственного мутагенеза *Cotinus coggygria*:
 А – сбор материала ценных генотипов; Б – растения-регенеранты на среде Мурасиге-Скуга (MS);
 В – на среде MS с добавлением колхицина, 0,01%; и колхицина, 0,02 % – Г

Заключение. Как показал анализ литературных источников, создание полиплоидных форм древесных и кустарниковых растений методом искусственного мутагенеза является сегодня распространенным «инструментом» в селекции, поскольку позволяет получить растения с потенциально полезными признаками. Наиболее часто встречается использование химических мутагенов, способствующих увеличению количества хромосом по сравнению с исходными образцами. Для определения плоидности растений исследователи используют косвенные методы, к которым относится подсчет количества устьичных клеток и хлоропластов, и прямые методы, заключающиеся в подсчете хромосом. Успешный результат зависит от концентрации амитотиков, времени обработки частей растений (семена, экспланты, верхушки микропобегов, проростки, точки роста, цветки, соцветия и т.п.). Эффективность полиплоидизирующего действия колхицина в значительной мере зависит от темпа деления клеток во время воздействия и индивидуальной восприимчивости генотипов древесных пород. По мнению авторов статьи, опыт российских и зарубежных исследователей будет полезен для селекции новых форм древесных растений *in vitro*, которые можно интродуцировать в

зонах аридного климата.

Литература:

1. Абилов С.К. Химические мутагены и генетическая токсикология // Природа. 2012. №. 10. С. 39-46. EDN PFPUNB
2. Азарова А.Б., Лебедев В.Г., Баранов О.Ю., Падутов В.Е., Шестибратов К.А. Подбор условий для получения полиплоидных форм лесных лиственных пород в культуре *in vitro* / Клеточная инженерия и биотехнология растений: тез. докл. Межд. научно-практ. конф., 13-15 фев. 2013, Минск, Беларусь= International Conference «Plant Cell Biology and Biotechnology», Minsk, Belarus, 13-15 feb, 2013/ Ред. совет В.В. Демидчик [и др.] - Минск, изд. БГУ, 2013. 253 с.
3. Астахова А.О., Кадыкова Е.Е., Зугланова М.С., Горожанина Е.В. Значение полиплоидии в растительном и животном мире//Интеграция научных исследований в решении региональных экологических и природоохранных проблем. 2020. С. 18-21.
4. Бутова Г.П., Табацкая Т.М., Машкина О.С., Вьюнова Л.Н., Бурдаева Л.М. Получение полиплоидов у древесных растений методом культуры тканей// Генетические и экологические основы повышения продуктивности лесов: сборник научных трудов / ответственный редактор С. А. Петров; Федеральная служба лесного хозяйства России, Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции. – Воронеж: Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции, 1993. С. 56-64.

EDN SAPCJV

5. Власов А.И., Бебия С.М., Кружилин С.Н., Прикня Д.О. О масштабной интродукции полиплоидных форм *Robinia pseudoacacia* L. в степной зоне как перспективном направлении научных исследований // Экономика и экология территориальных образований. 2022. Т. 6. № 2. С. 57-64. DOI 10.23947/2413-1474-2022-6-2-57-64. EDN UHDMBA

6. Генетические и экологические основы повышения продуктивности лесов, Воронеж: ФС ЛХ России. НИИЛГС, 1993. С. 56-64. EDN: RETREX

7. Гриф В.Г. Мутагенез и филогенез растений // Цитология. 2007. Т. 49. №. 6. С. 433-441. EDN: MPVSRB

8. Келько А.Ф., Слесаренко М.О., Караневский Р. И., Торчик В. И. Влияние химических мутагенов на всхожесть семян, рост и проявление декоративных признаков в семенном потомстве у представителей рода *Pinus* L // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2021. Т. 65. №. 6. С. 708-714. DOI: 10.29235/1561-8323-2021-65-6-708-714

9. Кротова Л.А., Чибис С.П. Эколого-генетическое влияние химических соединений на адаптацию растений // Современные проблемы науки и образования. 2017. №. 6. С. 250-250. EDN: QJHICH

10. Лебедев В.Г., Азарова А.Б., Шестибратов К.А., Деменко В.И. Проявление соматической изменчивости у микроразмноженных и трансгенных растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. №1. С. 153-163. EDN OQQRHT

11. Лебедев В.Г., Шестибратов К.А. Опыт создания биотехнологических форм древесных растений // Лесоведение. 2015. №. 3. С. 222-232. EDN UAHMNR

12. Машкина О.С., Исаков Ю.Н. Генетико-селекционное улучшение тополя // Лесоведение. 2002. № 3. С. 68-73. EDN: UIEYPN

13. Мочалова О.В., Гусев Д.О. Индукция полиплоидии у вишни степной и микровишни песчаной через культуру in vitro // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 9. С. 36-39. EDN WWRGOX

14. Потоцкая И.В., Кузьмина С.П. Генетика лесных древесных пород: курс лекций: учебное пособие. Омск: Омский ГАУ, 2018. 116 с.

15. Родионов А.В., Амосова А.В., Гнутиков А.А., Михайлова Ю.В., Пунина Е.О., Шнеер В.С., Лоскутов И.Г., Муравенко О.В. Роль межвидовой гибридизации и полногеномных дупликаций в эволюции растений: взгляд через призму геномики // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по материалам XVII междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 24-27 мая 2018 г.). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2018. С. 431-434.

16. Сабиров Ж.Б. Пути возникновения структурных мутаций при химической природе мутагенеза // Гигиена труда и медицинская экология. 2015. №. 2(47). С. 26-31.

17. Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М., Дутова Л.И., Ульяновская Е.В. Селекция яблони на полиплоидном уровне: итоги и перспективы // Садоводство и виноградарство. 2006. № 3. С. 18-21. EDN MGUHT

18. Симагин В.С. Перспективы использования отдаленной гибридизации в селекции вишни в связи с новыми представлениями о структуре рода *Cerasus* // С-х биология. 1999. № 5. С. 15-22.

19. Ташмагова Л.В., Мацнева О.В., Горбачева Н.В. Создание индуцированных тетраплоидов яблони // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. №. 4. С. 23-25. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/23-25

20. Фомин Л.В. Анатомо-физиологические показатели полиплоидных форм смородины // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. №. 11. С. 51-53. EDN: KWBCN

21. Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Лесное и ландшафтное хозяйство» – Москва: ООО «Издательская группа «Логос», 2003. 520 с. EDN VJEWAD

22. Царев А.П., Лаур, Н.В. Перспективные направления селекции и репродукции лесных древесных растений // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. №. 2 (332). С. 36-44. EDN PXDLQL

23. Шинкаренко С.С., Бартаев С.А. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 291-297. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297

24. Эйгес Н.С. Историческая роль Иосифа Абрамовича Рапопорта в генетике. Продолжение исследований с использованием метода химического мутагенеза // Вавилонский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 17. №. 1. С. 162-172. EDN RUGRBD

25. Эйгес Н.С., Волченко Г.А., Волченко С.Г. «Химический мутагенез» и «Фенотипическая активация ферментов»-крупнейшие открытия XX века. Ко дню рождения И.А. Рапопорта // История и педагогика естествознания. 2014. №. 1. С. 55. EDN TNAFSJ

26. Alix K., Gerard P.R., Shwarzacher T. Polyploidy and interspecific hybridization: partners for adaptation, speciation and evolution in plants. *Annals of botany*. 2017. V. 120. №. 2. P. 183-194. DOI: 10.1093/aob/mcx079

27. Cai X., Kang X.Y. In vitro tetraploid induction from leaf explants of *Populus pseudo-simonii* Kitag. *Plant Cell Rep*. 2011. V. 30. P. 1771-1778. DOI: 10.1007/s00299-011-1085-z

28. Ewald D., Ulrich K., Naujoks G. et al. Induction of tetraploid poplar and black locust plants using colchicine: chloroplast number as an early marker for selecting polyploids in vitro. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2009. V.99. P. 353-357. DOI: 10.1007/s11240-009-9601-3

29. Han C. Xu J. M., Du Z. H., Li G. Y., Zeng B. S., Wu S. J. and Wang W. Polyploidy induction of clone of *Eucalyptus grandis* with colchicine/ *Afr. J. Biotechnol*. 2011. V. 10. P. 14711-14717. DOI: 10.5897/AJB11.093

30. Jagannathan L., Marcotrigiano M. Phenotypic and ploidy status of *Paulownia tomentosa* trees regenerated from cultured hypocotyls. *Plant Cell Tissue Organ Cult*. 1986. V. 7. P. 227-236. DOI: 10.1007/BF00037739

31. Li Y.H., Kang X. Y., Wang S. D., Zhang Z. H., Chen H. W. Triploid Induction in *Populus alba* x *P. glandulosa* by Chromosome Doubling of Female Gametes. *Silvae Genetica*. 2008. V. 57. №. 1. P. 37. DOI:10.1515/sg-2008-0006

32. Li X., Zhang Z., Ren Y., Sun Y., Li Y. Induction and early identification of tetraploid black locust by hypocotyl in vitro. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2021. V.57(3), P. 372-379. DOI: 10.1007/s11627-020-10133-5

33. M. Endemann, K. Hristoforoglu, T. Stauber, E. Wilhelm. Assessment of age-related polyploidy in *Quercus robur* L. somatic embryos and regenerated plants using DNA flow cytometry. *Biologia Plantarum*. 2001. V. 44. P. 339-345. DOI:10.1023/A:1012426306493

34. Pieninkeroinen K., Valanne T. Old colchicine-induced polyploid materials of *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. *Ann. Sci. For*. 1989. V. 46. Suppl: P.264-266.

DOI: 10.1007/978-94-011-0491-3_9

35. Tang ZQ., Chen DL., Song ZJ. et al. In vitro induction and identification of tetraploid plants of *Paulownia tomentosa*. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2010. V. 102. P. 213-220. DOI: 10.1007/s11240-010-9724-6

36. Van Duren M., Morpurgo R., Dolezel J., Afza R. Induction and verification of autotetraploids in diploid banana (*Musa*

acuminata) by in vitro techniques. *Euphytica.* 1996. V. 88. №. 1. P. 25-34. DOI: 10.1007/BF00029262

37. Xu C., Zhang Y., Huang Z. Impact of the leaf cut callus development stages of *Populus* on the tetraploid production rate by colchicine treatment. *Journal of Plant Growth Regulation.* 2018. V. 37. №. 2. P. 635-644. DOI: 10.1007/s00344-017-9763-x

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.016.108-114

Artificial Mutagenesis As a Tool for Obtaining Polyploid Forms of Woody Plants

Irina V. Mogilevskaya✉, K.B.N., Leading Researcher, mogilevskaya-i@vfanc.ru, ORCID 0000-0001-8421-4767, Sofya V. Melnik, Junior Researcher, ORCID 0000-0001-8421-4767 – Biotechnology Laboratory Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. The review is devoted to the analysis of research by Russian and foreign scientists in the field of woody plant breeding using artificial mutagenesis methods. The work on obtaining polyploid forms of tree and shrub species with the possibility of their subsequent introduction in the arid climate zone is analyzed. Artificial change of ploidy by chemical mutagenesis leads to an increase or decrease in the number of chromosome sets compared to plants in the initial state. In natural conditions, such modification of the original forms can occur spontaneously, sometimes leading to the improvement of economically valuable plant traits. Contemporary methods based on the achievements of plant biotechnology can increase genetic diversity and accelerate the selection process, which will contribute to the production of disease-resistant, virus-resistant, stress-resistant forms of tree species. The article presents data from the mid-twentieth century on the use of chemical mutagens to produce polyploid plants with improved characteristics. For the first time, attention is paid to obtaining polyploid forms of woody plants in in vitro culture. Possible ways of estimating the ploidy of the obtained tree species by direct counting of chromosomes or indirectly by increasing the number of chloroplasts and stomatal cells per unit area of the leaf are considered.

Keywords: breeding, chemical mutagenesis, polyploid forms, woody plants, amitotics, colchicine, culture in vitro

Received: 18.10.2022

Accepted: 30.11.2022

Translation of Russian References:

1. Abilev S.K. *Khimicheskie mutageny i geneticheskaya toksikologiya* [Chemical mutagens and genetic toxicology]. *Priroda* [Nature]. 2012. 10. pp. 39-46. EDN PFPUNB
2. Azarova A.B., Lebedev V.G., Baranov O.Yu., Padutov V.E., Shestibratov K.A. *Podbor uslovij dlya polucheniya poliploidnykh form lesnykh listvennykh porod v kul'ture in vitro* [Choosing conditions for obtaining polyploid forms of forest hardwoods in culture in vitro]. *Kletochnaya inzheneriya i biotekhnologiya rastenij: tez. dokl. Mezhd. nauchno-prakt. konf., 13-15 fev. 2013, Minsk, Belarus'* [Cellular engineering and biotechnology of plants: abstracts of reports of International Conference «Plant Cell Biology and Biotechnology». 13-15 fev. 2013]. Minsk. Belarus Stste University Publ. house, 2013. 253 p.
3. Astakhova A.O., Kadykova E.E., Zuglanova M.S., Gorozhanina E.V. *Znachenie poliploidii v rastitel'nom i*

zhivotnom mire [The significance of polyploidy in the plant and animal world]. *Integratsiya nauchnykh issledovanij v reshenii regional'nykh ekologicheskikh i prirodookhrannykh problem* [Integration of scientific research in solving the regional environmental and nature protective problems]. 2020. pp. 18-21.

4. Butova G.P., Tabatskaya T.M., Mashkina O.S., V'yunova L.N., Burdaeva L.M. *Poluchenie poliploidov u drevesnykh rastenij metodom kul'tury tkanej* [Obtaining polyploids from woody plants by tissue culture method]. *Geneticheskie i ekologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti lesov* [Genetic and ecological foundations of increasing the forest productivity]: a compilation of scientific works / Executive editor S. A. Petrov. Voronezh: Scientific Research Institute of Forest Genetics and Breeding Publishment, 1993. pp. 56-64. EDN SAPCJV

5. Vlasov A.I., Bebiya S.M., Kruzhilin S.N., Priknya D.O. *O masshtabnoj introduksii poliploidnykh form Robinia pseudoacacia L. v stepnoj zone kak perspektivnom napravlenii nauchnykh issledovanij* [On the large-scale introduction of *Robinia pseudoacacia L.* polyploid forms in the steppe zone as a promising area of scientific research]. *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovanij* [Economics and ecology of territorial entities]. 2022. T. 6. 2. pp. 57-64. DOI 10.23947/2413-1474-2022-6-2-57-64

6. *Geneticheskie i ekologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti lesov, Voronezh: FS LKH Rossii* [Genetic and ecological bases of increasing forest productivity, Voronezh: Federal Forestry Service of Russia]. Scientific Research Institute of Forest Genetics and Breeding Publishment, 1993. pp. 56-64. EDN: RETREX

7. Grif V.G. *Mutagenез i filogeneз rastenij* [Mutagenesis and phylogeny of plants]. *TSitologiya* [Cytology]. 2007. T. 49. 6. pp. 433-441. EDN: MPVSRB

8. Kel'ko A.F., Slesarenko M.O., Karanevskij R.I., Torchik V.I. *Vliyanie khimicheskikh mutagenov na vskhozhest' semyan, rost i proyavlenie dekorativnykh priznakov v semennom potomstve u predstavitelej roda Pinus L* [Influence of chemical mutagens on seed germination, growth and appearance of decorative features in seed progeny of representatives of the *Pinus L.* genus]. *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus.* 2021. T. 65. 6. pp. 708-714. DOI: 10.29235/1561-8323-2021-65-6-708-714

9. Krotova L. A., Chibis S. P. *Ekologo-geneticheskoe vliyanie khimicheskikh soedinenij na adaptatsiyu rastenij* [Ecological and genetic influence of chemical compounds on plant

adaptation]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2017. 6. pp. 250-250. EDN: QJHICH

10. Lebedev V.G., Azarova A.B., Shestibratov K.A., Demenko V.I. *Proyavlenie somaklonal'noj izmenchivosti u mikrorazmnozheniykh i transgennykh rasteniy* [Appearance of somaclonal variability in micro-reproduced and transgenic plants]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyajstvennoy akademii* [Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy]. 2012. 1. pp. 153-163. EDN OQQRHT

11. Lebedev V.G., Shestibratov K.A. *Opyt sozdaniya biotekhnologicheskikh form drevesnykh rasteniy* [The experience of creating biotechnological forms of woody plants]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2015. 3. pp. 222-232. EDN UAHMNR

12. Mashkina O.S., Isakov Yu.N. *Genetiko-seleksionnoe uluchshenie topolya* [Genetic and breeding improvement of poplar]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2002. 3. pp. 68-73. EDN: UIEYPN

13. Mochalova O.V., Gusev D.O. *Induktsiya poliploidii u vishni stepnoj i mikrovishni peschanoy cherez kul'turu in vitro* [Induction of polyploidy in steppe cherry and sandy cherry through the in vitro culture]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agro-industrial complex]. 2016. T. 30. 9. pp. 36-39. EDN WWRGOX

14. Pototskaya I.V., Kuz'mina S.P. *Genetika lesnykh drevesnykh porod* [Genetics of forest tree species]: course of lectures: textbook. Omsk. SAU. Publ. house, 2018. 116 p.

15. Rodionov A.V., Amosova A.V., Gnutikov A.A., Mikhajlova Yu.V., Punina E.O., Shneer V.S., Loskutov I.G., Muravenko O.V. *Rol' mezhvidovoy gibridizatsii i polnogenomnykh duplikatsiy v evolyutsii: vzglyad cherez prizmu genomiki* [The role of interspecific hybridization and genome-wide duplications in plant evolution: a view through the prism of genomics]. *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany in Southern Siberia and Mongolia]: compilation of scientific articles based on the materials of the XVII International Scientific and Practical Conference. Barnaul. ASU Publ. house. 2018. pp. 431-434.

16. Sabirov Zh.B. *Puti voznikoveniya strukturnykh mutatsiy pri khimicheskoy prirode mutageneza* [Ways of structural mutations occurrence in the chemical nature of mutagenesis]. *Gigiena truda i meditsinskaya ekologiya* [Occupational hygiene and medical ecology]. 2015. 2(47). pp. 26-31.

17. Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M., Dutova L.I., Ul'yanovskaya E.V. *Selektsiya yabloni na poliploidnom urovne: itogi i perspektivy* [Apple tree breeding at the polyploid level: results and prospects]. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* [Horticulture and viticulture]. 2006. 3. pp. 18-21. EDN MGUHT

18. Simagin V.S. *Perspektivy ispol'zovaniya otdalenoj gibridizatsii v selektsii vishni v svyazi s novymi predstav-*

leniyami o strukture roda Cerasus [Prospects of using remote hybridization in cherry breeding in connection with new visions about the structure of the Cerasus genus]. *S-kh. Biologiya* [Agricultural Biology]. 1999. 5. pp. 15-22.

19. Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Gorbacheva N.V. *Sozдание indutsirovannykh tetraploidov yabloni* [Creation of induced tetraploids of apple trees]. *Vestnik Rossijskoj sel'skokhozyajstvennoy nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science]. 2018. 4. pp. 23-25. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/23-25

20. Fomin L.V. *Anatomo-fiziologicheskie pokazateli poliploidnykh form smorodiny* [Anatomical and physiological parameters of currant polyploid forms]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai SAU]. 2009. 11. pp. 51-53. EDN: KWBCN

21. Tsarev A.P., Pogiba S.P., Trenin V.V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* [Selection and reproduction of forest tree species]: Textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of "Forestry and landscape management". Moscow. LLC "Logos Publishing Group", 2003. 520 p. EDN VJEWAD

22. Tsarev A.P., Laur N.V. *Perspektivnye napravleniya selektsii i reproduktsii lesnykh drevesnykh rasteniy* [Promising directions of forest woody plants breeding and reproduction]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal* [Proceedings of higher educational institutions. Forest journal]. 2013. 2 (332). pp. 36-44. EDN PXDLQL

23. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. *Otsenka ploshchadi opustynivaniya na yuge evropejskoj chasti Rossii v 2021 g* [Assessment of the desertification area in the south of the European part of Russia in 2021]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Contemporary problem of remote sensing of the Earth from space]. 2021. T. 18. № 4. C. 291-297. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297

24. Ejges N.S. *Istoricheskaya rol' Iosifa Abramovicha Rapoporta v genetike. Prodolzhenie issledovanij s ispol'zovaniem metoda khimicheskogo mutageneza* [The historical role of Joseph Abramovich Rapoport in genetics. Continuation of research using the method of chemical mutagenesis]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2014. T. 17. No1. pp. 162-172. EDN RUGRBD

25. Ejges N.S., Volchenko G.A., Volchenko S.G. *«Khimicheskij mutagenez» i «Fenotipicheskaya aktivatsiya fermentov» - krupnejšie otkrytiya XX veka. Ko dnyu rozhdeniya I.A. Rapoport* ["Chemical mutagenesis" and "Phenotypic activation of ferments" are the largest discoveries of the twentieth century. On the birthday of I.A. Rapoport]. *Istoriya i pedagogika estestvoznaniya* [History and pedagogy of natural science]. 2014. 1. pp. 55. EDN TNAFSJ

Цитирование. Могилевская И.В., Мельник С.В. Искусственный мутагенез как инструмент для получения полиплоидных форм древесных растений // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 108-114. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.016.108-114

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Mogilevskaya I.V., Melnik S.V. Artificial Mutagenesis As a Tool for Obtaining Polyploid Forms of Woody Plants. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 108-114. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.016.108-114

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Влияние скарификации на кинетику прорастания семян с твердыми покровами некоторых видов рода *Gleditsia* при генеративном размножении

Елена Леонидовна Гричик, ORCID 0000-0003-4478-6538 –

инженер-исследователь лаборатории биотехнологий;

Ольга Олеговна Жолобова[✉], zholobova-o@vfanc.ru, к.б.н., в.н.с., ORCID 0000-0002-1594-4181 –

зав. лабораторией биотехнологий –

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), info@vfanc.ru, 400062, пр. Университетский, 97, Волгоград, Россия

Древесные породы рода *Gleditsia* являются перспективным генофондом для защитного лесоразведения, лесомелиоративных и озеленительных насаждений. Интродукция видов и семенное размножение ограничивается уровнем пластичности в новых экологических условиях, а с другой стороны физиологическими особенностями породы. Внешняя твердая и водонепроницаемая семенная оболочка сильно затрудняет размножение в естественных условиях. Проведена работа по выявлению эффективных способов скарификации, повышающих всхожесть семян видов рода *Gleditsia*. В исследовании были использованы способы физической, термической и химической скарификации, нарушающие семенную оболочку и повышающие водопроницаемость семян. Физический способ – скарификация наждачной бумагой, термический – обработка кипятком и холодной водой поочередно в нескольких повторностях, химический – выдерживание семян в растворах соляной, серной кислоты и ацетона. В эксперименте использовали семенной материал 4 видов *Gleditsia*, перспективных для обогащения дендрофлоры деградированных ландшафтов в засушливых регионах: *Gleditsia triacanthos* L., *Gleditsia caspica* Desf., *Gleditsia delavayi* Franch., *Gleditsia sinensis* Lam. Для каждого вида были подобраны оптимальные способы скарификации, которые значительно повысили энергию прорастания и всхожесть семян.

Ключевые слова: твердосемянность, бобовые, *Gleditsia*, скарификация, скорость прорастания семян, всхожесть, энергия прорастания.

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре *in vitro*» FNFЕ-2022-0008.

Поступила в редакцию: 16.08.2022

Принята к печати: 03.10.2022

Представители рода *Gleditsia* L. из семейства *Fabaceae* – это крупные, мощные деревья, вырастающие до 45 м, которые произрастают практически на всех континентах и отличаются высокой засухоустойчивостью. Изучение этого родового комплекса является перспективным для защитного лесоразведения, лесомелиоративных и озеленительных насаждений. Результаты интродукционных испытаний 6 видов *Gleditsia* и оценка их биологического потенциала на территории Нижнего Поволжья показала перспективность использования данных видов для обогащения дендрофлоры деградированных ландшафтов в засушливых регионах [7, 8].

Гледичия используется для создания буферных полос вдоль автомагистралей или в городских лесах, ее можно успешно выращивать в районах с загрязненным воздухом [13]. Насаждения из гледичии рекомендуются для непроходимой живой колючей изгороди и высадки вдоль пойм рек, а также для создания лесных массивов и полезащитных лесных полос в наиболее засушливых районах с засоленными почвами [6].

Для получения качественного посадочного материала, изучения биологического потенциала и

возможности поддержания и распространения популяции вида важную роль играет семенное возобновление. Плоды гледичии представляют собой плоские, нераскрывающиеся, часто скрученные бобовые стручки длиной от 15 до 41 см, семена крупные, длиной до 1,5 см с твердой водонепроницаемой оболочкой, из-за которой даже при достаточно благоприятных условиях они не способны прорасти самостоятельно или имеют очень низкую всхожесть. В естественных условиях прорастание семян и появление всходов может растянуться до нескольких лет.

Строение и состав семенной кожуры были изучены на примере семян гледичии обыкновенной (трехколючковой) *Gleditsia triacanthos* L. и как она изменяется при набухании. В семенной кожуре было выявлено три основных слоя с разными физико-химическими и механическими свойствами, которые различаются по своим функциям. Гиподерма состоит из клеток, вытянутых параллельно поверхности, клеточная стенка которых пропитана гидрофобным веществом суберином. Поэтому перед посевом твердые семена подвергают различным видам обработки (физической или химической), что повышает проницаемость семенной

оболочки для воды [1].

Наиболее изученным видом, имеющим широкое распространение как основной представитель североамериканской флоры на территории Российской Федерации, как в городском озеленении в качестве декоративного дерева, так и в защитном лесоразведении для создания лесных полос является *Gleditsia triacanthos*. В некоторых странах этот вид причисляют к инвазивным и уделяют особое внимание изучению почвенных семенных банков под кронами деревьев, высаженных в городских парках и скверах для контроля формирования стабильных популяций и их дальнейшего распространения [17, 12].

Прорастание играет центральную роль в жизненном цикле растений и, следовательно, может быть ключевым признаком в определении распространения вида. В Аргентине изучали процент всхожести и среднее время прорастания у химически и механически скарифицированных семян *G. triacanthos* из трех населенных пунктов, причем первая переменная также регистрировалась у семян, подвергшихся прохождению через пищеварительный тракт животных, имитации пожара и механической скарификации. Изучение различных механизмов обеспечения прорастания семян, особенно с твердыми покровами, могло бы предоставить важную информацию о распространении инвазивных видов, а также полезные знания для борьбы с ними [14].

В работах Kheloufi A. увеличить всхожесть *G. triacanthos* до 96 % удалось путем замачивания в серной кислоте в течение 90 минут [15]. В исследованиях других авторов механическая скарификация давала раннюю, равномерную и высокую всхожесть (74,37%), а при кислотной скарификации всхожесть увеличилась с 21,30% (без обработки) до 75,87% с замачиванием на 15 мин [16]. Изучение влияния стратификации семян на всхожесть не дало положительных результатов, что указывает на отсутствие спящего зародыша, а вот выдерживание в течение 1 часа в концентрированной серной кислоте было лучшим методом для прерывания периода покоя [10].

Результаты испытаний Булгаковой Е.В. и Нефедьевой Е.С. различных воздействий (давление 11 МПа и 29 МПа, скарификация, стратификация, обработка кипятком и др.) на прорастание семян показали, что именно скарификация значительно увеличивает процент всхожести семян *G. triacanthos*. Кроме того, высоким процентом всхожести обладают семена с естественными трещинами [2].

Объектами наших исследований были выбраны семена четырех видов рода *Gleditsia*, наиболее перспективные для лесомелиорации и озеленения населенных пунктов Поволжья: Гледичия трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.), Гледичия каспийская (*Gleditsia caspica* Desf.), Гледичия Делавея (*Gleditsia delavayi* Franch.) и Гледичия китайская (*Gleditsia sinensis* Lam.).

Основной целью работы являлось – оценить различные способы скарификации и их влияние на всхожесть семян видов рода *Gleditsia* с труднопроницаемой семенной оболочкой.

Материалы и методы исследования. Семена исследуемых видов были заказаны в фирме «Агбина», предварительно семена были посчитаны, взвешены и хранились в бумажных пакетах при температуре +4°C. Все работы проводились на базе лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН.

В качестве основных способов скарификации были выбраны:

1). Термическая: семена ошпаривали кипятком, затем на несколько минут опускали в ледяную воду, процедуру повторяли несколько раз.

2). Физическая: оболочку семян повреждали вручную с помощью наждачной бумаги, подпиливали край семечка или стирали до второго слоя семенной кожуры.

3). Химическая: перед посевом семена обрабатывали в течение 2 часов ацетоном в соотношении 1 г семян к 1 мл ацетона, серной и соляной концентрированными кислотами с экспозицией 20 минут. После обработки семена промывались под проточной водой в течение часа [5, 9].

Обработанные семена помещали на чашки Петри с марлевой трехслойной подложкой, увлажненной дистиллированной водой. Контролем послужили семена, замоченные в дистиллированной воде. Каждая проба составляла по 15 семян. Исследование проводилось в течение 20-ти дней в трехкратной повторности, согласно ГОСТу-13056.6-97. Семена в чашках Петри культивировали на фитостеллажах с постоянным освещением (70 мкмоль/с/м²) и температурой 22-24°C. Подсчет проростков проводили на 2, 5, 7, 10, 15-ый день [4].

Изучение лабораторных показателей всхожести семян *Gleditsia* после различных способов скарификации, проводили по таким показателям, как энергия прорастания (%), количество проросших семян на 5 сутки), всхожесть (%), появление первых проростков, период прорастания семян и скорость прорастания семян (сутки).

Скорость прорастания семян рассчитывается по формуле [11]:

$$\text{СПС} = [(A_1/1) + (A_2/2) + (A_n/n)],$$

где: А – количество проросших семян в соответствующий день наблюдения;

1, 2, n – сутки, на которые выполняется наблюдение.

В дни подсчета проростков в каждой повторности с подложки удалялись нормально проросшие и пропавшие семена. В течение эксперимента фиксировали число проросших, погибших, и оставшихся непроросших семян, оставленных на подложке. В последний день подсчета всхожести у оставшихся семян определяли количество пустых и беззародышевых, погибших или поврежденных инфекцией семян. Статистическую обработку данных

проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение.

Семена, замоченные в дистиллированной воде (контроль) ни у одного из видов гледичии не проросли, лишь единичные немного набухли. Первые

ростки у *G. triacanthos* появились на 3 сутки при механической и кислотных способах скарификации. Изучение влияния различных способов скарификации на прорастание семян *G. triacanthos* представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние скарификации на длительность прорастания и всхожесть семян *Gleditsia triacanthos*

Способ скарификации	Появление первых всходов, сутки	Энергия прорастания, %	Всхожесть семян, %	Период прорастания, дней	Скорость прорастания семян, сутки
Механическая (наждачная бумага)	3	63,4±3,4	83,3±3,3	4	3,23
Термическая обработка	7	0	16,7±3,4	3	0,24
Соляная кислота	3	66,7±0	76,7±3,4	4	2,74
Серная кислота	3	76,7±3,4	86,6±3,4	4	3,39
Ацетон	5	13,3±0	56,7±3,4	5	0,69

Максимальная всхожесть семян гледичии трехколючковой была зафиксирована 86,6 % при погружении семян на 20 минут в серную кислоту. При данном способе предпосевной обработки все параметры были максимальные (энергия прорастания составила 76,7 % и скорость прорастания 3,39 суток). Высокие показатели были отмечены и при механической обработке и использовании соляной

кислоты, энергия и всхожесть были от 60 до 80%. Ацетон тоже стимулировал всхожесть семян до 56,7 %, но при этом и первые всходы, и период прорастания семян растягивался до 5 суток, энергия прорастания была низкая 13,3%, дружности всходов не было. Обработка кипятком оказалась малоэффективной с самыми низкими показателями.



Рисунок 1. Чашки Петри с проросшими семенами *Gleditsia triacanthos* при разных способах скарификации на 5-е сутки после посева
 а – семена, обработанные серной кислотой; б – семена, обработанные соляной кислотой;
 в – механическая скарификация наждачной бумагой;
 г – контроль, семена, замоченные в дистиллированной воде

На рисунке 1 наглядно представлены результаты скарификации семян механическим и кислотными способами, на которых фиксировалась максимальная всхожесть по сравнению с контролем и другими способами скарификации. При этом видно, что несмотря на высокую всхожесть и энергию прорастания при механическом повреждении покровов семян, влаги попавшей внутрь семян было достаточно лишь на начальный этап развития зародышевого корешка, после чего они сильно тормозили в росте и развитии, в отличие от семян, обработанных кислотами. После погружения в концентрированные кислоты на поверхности семенной кожуры наблюдалось большое количество микротрещин, которые не только сыграли роль проводника воды, но и способствовали быстрому

освобождению от семенной кожуры и раскрытию семядольных листочков.

В отличие от *G. triacanthos* первые проростки у гледичии каспийской *G. caspica* появились на 4 сутки при кислотной скарификации, а при термической только на 8-е. Самая высокая скорость прорастания семян была у выборки, обработанной соляной кислотой – 2,74 суток, а самая низкая – 0,25 суток при обработке кипятком.

Как следует из полученных данных энергии прорастания и всхожести семян *G. caspica* (рисунок 2), максимальные показатели были получены при использовании соляной кислоты 50 и 90 % соответственно. При механической скарификации всхожесть составила 50 %, под действием серной кислоты и ацетона – ниже 35 %.

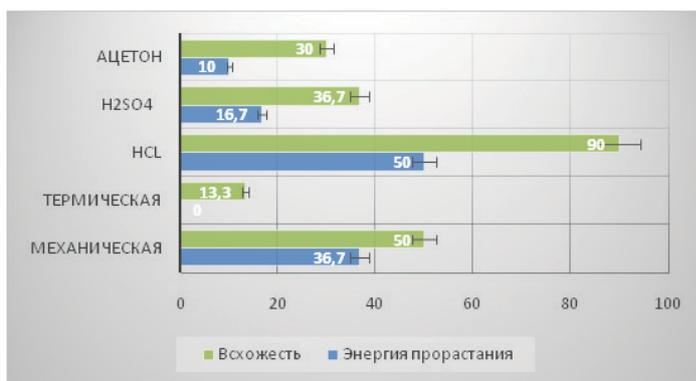


Рисунок 2. Процент энергии прорастания и всхожести семян *Gleditsia caspica* при разных способах скарификации

При работе с семенным материалом, особенно это касается древесных видов, у которых растянуты периоды от появления первых всходов до полного прорастания, исследователь часто сталкивается с такой проблемой, как микробная, бактериальная или вирусная контаминации, которые мешают адекватной оценке в постановке опыта.

В благоприятных условиях влажности и оптимальной температуре семена набухают и прорастают. В этот период происходят физиолого-биохимические и молекулярно-генетические процессы. Активацию вредных микроорганизмов

на поверхности семян вызывает выброс органических веществ из набухшего или проросшего семени. Концентрации таких веществ у каждого вида растений индивидуальны и специфичны [3].

При работе с семенным материалом *G. delavayi* после набухания семени имели специфический запах, выделяли органические вещества и со временем погибали или зарастали плесенью. На рисунке 3 показано соотношение проросших семян, непроросших и контаминированных, которые не учитывались в дальнейшем эксперименте.

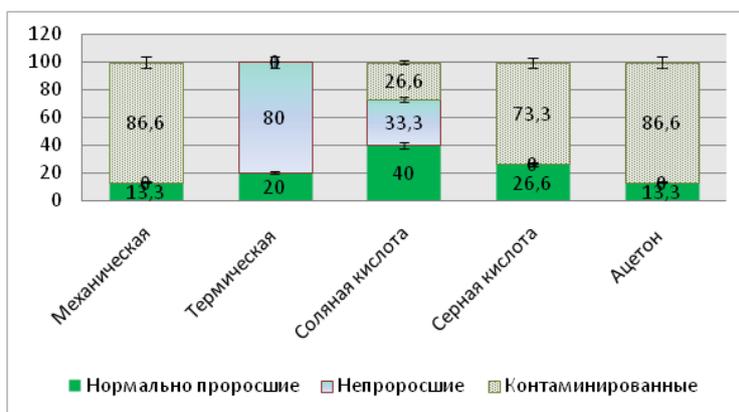


Рисунок 3. Процент проросших, непроросших и контаминированных семян *Gleditsia delavayi* при разных режимах скарификации

Только при термической скарификации кипятком на поверхности семян не отмечалось процессов контаминации, первые всходы появились на 5 день, при этом время прорастания семян было самым длительным – 8 суток, с наименьшей скоростью прорастания – 0,4 суток. Вероятно, отсутствие микробных и других инфекций можно объяснить тем, что 80 % непроросших семян оставались твердыми и активные физиолого-биохимические процессы не были запущены.

Механическая скарификация и использование ацетона, хоть и спровоцировали активное набухание семян, первые всходы отмечены на 3 и 5 сутки, всхожесть составила 13,3 %, при этом процент контаминированных семян был максимальным 86,6 %. При использовании серной кислоты всхожесть была чуть выше – 26,6 %, всходы появились также на 5 день, но процент контаминации тоже оставался на высоком уровне – 73,3 %.

Самым эффективным способом скарификации для *Gleditsia delavayi* являлась соляная кислота:

энергия прорастания и всхожесть составили 23,4 и 40 % соответственно. Скорость прорастания семян была максимальной – 1,09 суток. 33,3 % семян остались непроросшими, и только 26,6% были контаминированы.

Лучший результат для *Gleditsia sinensis* получен при использовании соляной кислоты, первые всходы появились на 4 день, энергия прорастания и всхожесть были максимальные – 16,7 и 53,3 % соответственно, скорость прорастания семян составила 1,31 суток. Неплохой результат получен при обработке семян серной кислотой и наждачной бумагой, в обоих случаях 40% проросших, но использование серной кислоты позволило получить первые всходы на 5 день с более высокой скоростью прорастания 0,92 суток, а при механической скарификации всходы появились только на 7 день, а скорость прорастания – 0,86 суток. Менее эффективным было применение ацетона – 26,6% всхожести, и термическая скарификация – 6,6 %. На рисунке 4 показана динамика прорастания семян.

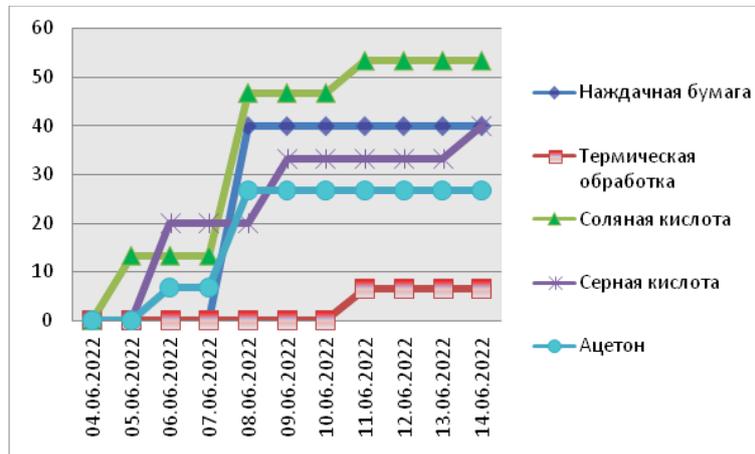


Рисунок 4. Динамика прорастания семян *Gleditsia sinensis* при разных способах скарификации

Пророщенные семена всех видов гледичии высаживались в контейнеры для использования в дальнейших экспериментах по интродукции и из-

учению биологического потенциала родového генофонда *Gleditsia* (рисунок 5).

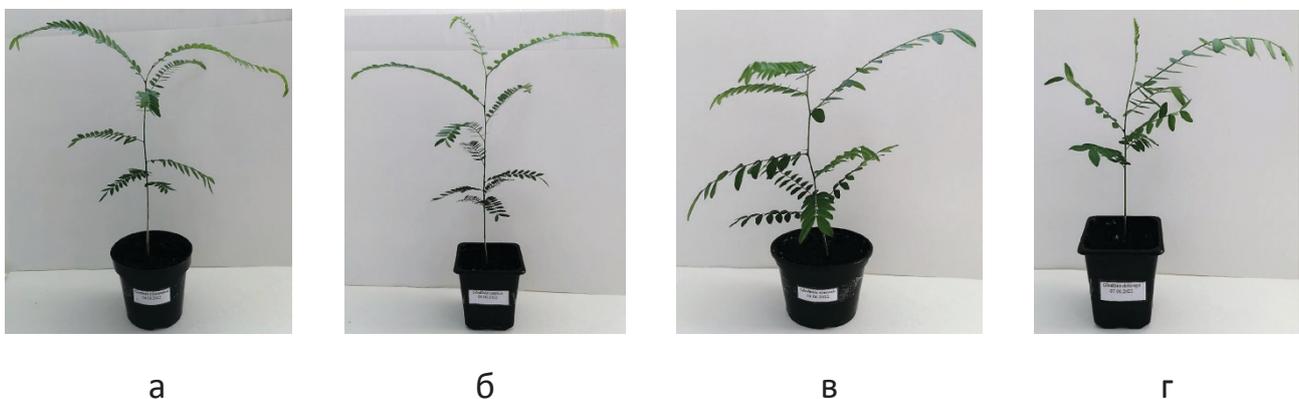


Рисунок 5. Укорененные сеянцы гледичии: а – *Gleditsia triacanthos*; б – *Gleditsia caspica*; в – *Gleditsia sinensis*; г – *Gleditsia delavayi*

Заключение. Семена рода *Gleditsia* имеют твердую водонепроницаемую семенную оболочку, эффективным способом увеличить энергию прорастания и всхожесть семян является скарификация. При этом продуктивность выбранного метода скарификации зависит как от качества семенного материала, так и от генотипических особенностей исследуемого вида.

Для всех изученных в эксперименте видов всхожесть удалось значительно повысить благодаря механической и кислотным методам скарификации. Термическая обработка и использование ацетона в качестве растворителя одного из слоев семенной кожуры оказались малоэффективными.

Для *Gleditsia triacanthos* максимальная всхожесть семян была достигнута (86,6 %) при погружении семян на 20 мин в серную кислоту, первые проростки появились на 3 сутки. Высокие показатели были отмечены и при механической обработке, но данный метод не пригоден для крупномасштабных целей.

Первые проростки у гледичии каспийской *Gleditsia caspica* появились на 4 сутки, энергия прорастания и всхожесть максимальные (50 и 90 %) у выборки, обработанной концентрированной соляной кислотой в течение 20 минут.

Семенной материал *Gleditsia delavayi* был подвержен высокому уровню контаминации, что требует дополнительной обработки системными противогрибковыми и другими препаратами, исключающими протекание инфекционных процессов. Концентрированная соляная кислота оказалась лучшим методом скарификации – энергия прорастания и всхожесть составили 23,4 и 40 % соответственно, и только 26,6% были контаминированы.

Лучший результат для *Gleditsia sinensis* также был получен при использовании соляной кислоты, первые всходы появились на 4 день, энергия прорастания и всхожесть были максимальные – 16,7 и 53,3 %, скорость прорастания семян составила 1,31 суток.

Результаты исследований показали, что наиболее эффективным методом прерывания покоя семян был метод химической скарификации, заключающийся в замачивании в концентрированной соляной кислоте и серной кислоте в течение 20 минут. Это позволило значительно увеличить процент прорастания семян всех исследуемых видов рода *Gleditsia*, несмотря на генотипические особенности, по сравнению с ацетоном, термической обработкой и контролем в опыте. В контроле за период эксперимента не было зарегистрировано прорастания семян.

Литература:

1. Балакина А.А., Нефедьева Е.Э., Ларикова Ю.С. Исследование строения и состава семенной оболочки гледичии и некоторых изменений в ее структуре при набухании // Аграрный вестник Урала. 2021. № 03-206. С. 46-52.
2. Булгакова Е.В., Нефедьева Е.Э. Влияние абиотических факторов на прорастание семян гледичии. с твердыми покровами // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям сре-

ды: сб. материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. В 2 ч. Ч. 1. Иркутск. 2018. С. 159-162.

3. Габидова А.Э., Галынкин В.А., Тихонович И.А. Резистентность и анализ микробиологического риска в фармации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12-7. С. 1307-1315.

4. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести: Введ. 1997-11-21. Минск, 1998. 11 с.

5. Оразбаев С., Салакшинова Б., Мендибаева Г. Влияние скарификации на твердосемянность многолетних бобовых трав // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. №12-2. С. 14-16.

6. Природное сырье китайской медицины: справочник (в 3-х томах) / А.И. Шретер, Б.Г. Валентинов, Э.М. Намумова. Том I. Москва. 2004.

7. Семенютина А. В., Климов А.Д. Анализ биоресурсов генофонда *Robinia*, *Gleditsia* для лесомелиоративных комплексов на основе изучения адаптации к стресс-факторам // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2018. Т. 8. № 2. С. 33-45.

8. Семенютина А.В., Климов А.Д. Биологический потенциал интродуцированных видов рода *Gleditsia* L. в Нижнем Поволжье // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3. С. 78-83.

9. Скарификация семян [Электронный ресурс]// FLOWERSFAMILY.RU Онлайн-журнал о домашних растениях. URL: <https://flowersfamily.ru/pomidyory/vseuzlyrezultat-klasterizaciipodgotovka-seman-k-posevu.html> (дата обращения 16.04.22)

10. Babashpour-Asl, Marzieh & Sharifivash, Raana & Akram, Rahbari. Effect of Different Treatments on Seed Germination of Honey Locust (*Gleditschia triacanthos*) // Modern Applied Science. 2011. № 5. P. 200-209.

11. Binning L.K., Wiese A.N. Calculating the threshold temperature of development for weeds // Weed Sci. 1987. Vol.35. P.177-179

12. Effects of tree size and park maintenance on soil seed bank of *Gleditsia triacanthos*, an exotic tree in urban green areas / P. Csontos, T. Kalapos, T. Faradhimu, T. Hardi, J. Tamás // Biologia Futura. 2020. № 71(1-2). P. 81-91.

13. Ertekin M., Kirdar E. Effects of seed coat colour on seed characteristics of honeylocust (*Gleditsia triacanthos*). African Journal of Agricultural Research. 2010. Vol 5. P. 2434-2438.

14. Ferreras A.E., Funes G., Galetto L. The role of seed germination in the invasion process of Honey locust (*Gleditsia triacanthos* L., *Fabaceae*): Comparison with a native confamilial // Plant Species Biology. 2015. № 30(2). P. 126-136.

15. Kheloufi A. Germination of seeds from two leguminous trees (*Acacia karroo* and *Gleditsia triacanthos*) following different pre-treatments // Seed Science and Technology. 2017. № 45(1). P. 259-262.

16. Pod and seed characteristics and effect of pretreatment on seed germination of honey locust (*Gleditsia triacanthos*) / G.H.M. Bhat, A. Singh, J.A. Mugloo, M.A. Khan, A.M. Fazli // Annals of Biology. 2010. № 26(1). P. 23-26.

17. Simko H., Csontos P. Soil seed banks of *Robinia pseudoacacia* and *Gleditsia triacanthos* in city parks of Budapest, Hungary [FEHER AKÁC ÉS TÖVISES LEPÉNYFA MAGBANKJÁNAK VIZSGÁLATA BUDAPESTI PARKOK TALAJÁBAN] // Journal of Landscape Ecology. 2009. № 7(1). P. 269-278.

DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.017.115-121

The Scarification Effect on the Kinetics of Some *Gleditsia* Species Genus Seeds With Hard Covers Germination During Generative Reproduction

Elena L. Grichik, Research Engineer of Biotechnology Laboratory, ORCID 0000-0003-4478-6538;

Ol'ga O. Zholobova[✉], zholobova-o@vfanc.ru, K.B.N., Leading Researcher, ORCID 0000-0002-1594-4181 – Head of Biotechnology Laboratory –

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. Tree species of the *Gleditsia* genus are a promising gene pool for protective afforestation, forest reclamation and greening plantings. The species introduction and seed reproduction are limited by the level of plasticity in new environmental conditions, and on the other hand by the physiological characteristics of the species. The outer hard and waterproof seed coat makes it very difficult to reproduce in natural conditions. Work has been carried out to identify effective scarification methods that increase the genus *Gleditsia* species seeds germination. The study used methods of physical, thermal and chemical scarification that violate the seed coat and increase the water permeability of seeds. The physical method is scarification with sandpaper, the thermal method is treatment with boiling water and cold water alternately in several repetitions, the chemical method is keeping seeds in solutions of hydrochloric acid, sulfuric acid and acetone. In the experiment, seed material of 4 *Gleditsia* species promising for enriching the dendroflora of degraded landscapes in arid regions was used: *Gleditsia triacanthos* L., *Gleditsia caspica* Desf., *Gleditsia delavayi* Franch., *Gleditsia sinensis* Lam. Optimal scarification methods were chosen for each species, which significantly increased the germination energy and seed germination.

Keywords: hard seed, legumes, *Gleditsia*, scarification, seed germination rate, germination capacity, germination energy

Received: 16.08.2022

Accepted: 03.10.2022

Translation of Russian References:

1. Balakina A.A., Nefed'eva E.E., Larikova Yu.S. *Issledovanie stroeniya i sostava semenoj obolochki gledichii i nekotoryh izmenenij v ee strukture pri nabuhanii* [Survey of the structure and composition of the gledichia seed coat and some changes in its structure during swelling]. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2021. 03-206. pp. 46-52.

2. Bulgakova E.V., Nefed'eva E.E. *Vliyanie abioticheskikh faktorov. na prorastanie semyan gledichii. s tvyordymi pokrovami* [The abiotic factors influence on the germination

of gledichia seeds with hard covers]. *Mekhanizmy ustojchivosti rastenij i mikroorganizmov k neblagopriyatnym usloviyam sredy* [Mechanisms of plants and microorganisms resistance to adverse environmental conditions]: compilation of the Russian Society of Plant Physiologists Annual Meeting materials, a materials of the All-Russian scientific conference with international participation and the school of young scientists. In 2 Pts, Pt. 1. Irkutsk. 2018. pp. 159-162.

3. Gabidova A.E., Galynkin V.A., Tihonovich I.A. *Rezistentnost' i analiz mikrobiologicheskogo riska v farmacii* [Resistance and analysis of microbiological risk in pharmacy]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2016. 12-7. pp. 1307-1315.

4. GOST 13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. Methods for determining germination: Introduction. 1997-11-21. Minsk, 1998. 11 p.

5. Orazbaev S., Salakshinova B., Mendibaeva G., *Vliyanie skarifikacii na tverdosemyannost' mnogoletnih bobovyh trav* [The effect of scarification on the hard-seeding of perennial legumes]. *International Scientific Research Journal*. 2013. 12-2. pp. 14-16.

6. Shreter A.I., Valentinov B.G., Naumova E.M. *Prirodnoe syr'e kitajskoj mediciny* [Natural raw materials of Chinese medicine]: a reference book (in 3 volumes). Vol. I. Moscow. 2004.

7. Semenyutina A.V., Klimov A.D. *Analiz bioresursov genofonda Robinia, Gleditsia dlya lesomeliorativnyh kompleksov na osnove izucheniya adaptacii k stress-faktoram* [The Robinia, Gleditsia gene pool bioresources analysis for forest amelioration complexes based on the study of adaptation to stress factors]. *Science. Thought: electronic periodical*. 2018. T. 8. 2. pp. 33-45.

8. Semenyutina A.V., Klimov A.D. *Biologicheskij potencial introducirovannyh vidov roda Gleditsia L. v Nizhnem Povolzh'e* [Biological potential of the genus Gleditsia L. introduced species in the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower-Volga agrouniversity complex: Science and higher professional education]. 2014. 3. pp. 78-83.

9. *Skarifikaciya semyan* [Scarification of seeds] [Electronic resource]. FLOWERSFAMILY.RU Online journal about home plants. URL: <https://flowersfamily.ru/pomodory/vse-uzlyrezultat-klasterezacii-podgotovka-seman-k-posevu.html> (access date: 16.04.22)

Цитирование. Гричик Е.Л., Жолобова О.О. Влияние скарификации на кинетику прорастания семян с твердыми покровами некоторых видов рода *Gleditsia* при генеративном размножении // Научно-агрономический журнал. 2022. №4(119). С. 115-121. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.017.115-121

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Citation. Grichik E.L., Zholobova O.O. The Scarification Effect on the Kinetics of Some *Gleditsia* Species Genus Seeds With Hard Covers Germination During Generative Reproduction. *Scientific Agronomy Journal*. 2022. 4(119). pp. 115-121. DOI: 10.34736/FNC.2022.119.4.017.115-121

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

Редакция научно-практического журнала «Научно-агрономический журнал»

благодарит уважаемых авторов за сотрудничество и выражает надежду на дальнейшую популяризацию результатов фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых по научному обеспечению сельского, лесного и мелиоративного хозяйства с освещением проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем к меняющимся климатическим условиям.

В журнале публикуются научные статьи, обзоры, требующие обязательного рецензирования и регистрации DOI. Для публикации статей в журнале приглашаются научные и научно-педагогические работники, докторанты, аспиранты, а также практические работники и руководители организаций сферы АПК.

К публикации принимаются статьи, отражающие наиболее значимые научные труды, нигде ранее не опубликованные, соответствующие тематике журнала, обладающие научной новизной и содержащие

материалы собственных научных исследований автора. Предоставляемые материалы должны быть актуальными, иметь новизну, научную и практическую значимость. Оригинальность текста – не менее 75 % (проверка статьи с помощью сервиса www.text.ru или www.antiplagiat.ru), подтвержденные отчетом с указанных сервисов.

Статьи, представленные к публикации, направляются редколлегией журнала на обязательное рецензирование. Рецензирование осуществляется в строгом соответствии с порядком рецензирования и этическими принципами, опубликованными на официальном веб-сайте <https://vfanc.ru/center/zhurnal/>.

Главный и ответственный редакторы принимают решение о возможности принятия рукописи к печати на основании рецензий и собственной оценки качества материала, авторских ответов на замечания и исправлений рукописи, при необходимости консультируясь с другими членами Редакционной коллегии.

Требования к оформлению статей

Редакционная коллегия оставляет за собой право не включать в журнал статьи, не соответствующие предъявляемым требованиям.

В начале статьи на русском языке указываются:

- номер по Универсальной десятичной классификации (УДК);
- название статьи;
- инициалы и фамилия автора(ов);
- название организации, в которой выполнялась работа, город;
- E-mail;
- аннотация – 150-250 слов;
- ключевые слова и словосочетания.

Далее в той же последовательности информация приводится на английском языке. Если статья подана не на русском языке, то данные о статье, авторах, аннотация и ключевые слова приводятся сначала на языке оригинала, а затем обязательно на русском языке.

Научная статья должна обязательно включать:

- Введение (содержит актуальность, цель и задачи исследования, критический анализ достижений и публикаций);
- Материалы и методы исследования;
- Результаты исследования и их обсуждение;
- Выводы;
- Список литературы на языке оригинала и References (английская транслитерация оригинального списка).
- Сведения об авторе (авторах) на русском и английском языках (для каждого автора): Ф.И.О. полностью, учёная степень, звание; место работы; должность, город; E-mail.

Материал статьи должен быть изложен кратко, в научно-информационном стиле, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте; на литературу, таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте.

Ссылки на литературу оформляются в виде номера, в соответствии с положением источника в библиографическом списке, номер ссылки заключается в квадратные скобки.

Статья представляется в редакцию журнала «Научно-агрономический журнал» по электронной почте nwzhurnal@mail.ru, набранной в формате Word Windows, книжная ориентация. Материал для публи-

кации набирается с установками: поля – 2 см, стиль обычный, шрифт Times New Roman, размер шрифта 14, межстрочный интервал 1,5, расстановка переносов автоматическая. Абзацный отступ одинаковый по тексту 1,25 см. Ограничения по количеству рисунков и таблиц – не более восьми.

Таблицы и диаграммы выполняются в редакторе MS Word (не рисунками), нумеруются, если их более одной и располагаются по смыслу текста статьи. Используемые в статьях физические, химические, технические, математические термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми. Размерность всех величин, принятых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ). Фотографии предоставляются в электронном виде в формате jpg или tif. Формулы записываются в стандартном редакторе формул MS Word.

Не допускается нумерация страниц, использование в тексте разрывов страниц, использование автоматических постраничных ссылок, использование разреженного или уплотненного межбуквенного интервала.

Объем научной статьи 6–15 страниц машинописного текста.

В список литературы добавляются только те источники, на которые есть ссылки в тексте статьи (для тезисов это правило не применяется). Допускается не более 20 % самоцитирования любых работ, опубликованных в других печатных источниках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 в алфавитном порядке. В списке литературы ссылка на каждый источник приводится на том языке, на котором он опубликован. После списка литературы на русском языке идет его транслитерация в латиницу. Для транслитерации рекомендуется использовать сайт: <http://translit.net/> с параметрами по умолчанию. В статье рекомендуется использовать не менее 10 литературных источников, раскрывающих проблему исследования.

С уважением, редакционная коллегия