16+

ISSN 2500-2961
УДК 55:57:58:59:61:91

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2022. Т. 12. № 2

Природа и человек: экологические исследования

Издается с 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель:
Московский педагогический государственный университет

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77–67765
от 17.11.2016 г.

Адрес редакции:
109240, Москва, ул. В. Радищевская, д. 16–18, каб. 223

Сайт: soc-ecol.ru
E-mail: izdat_mgopu@mail.ru

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ

Биологические науки	
03.02.0 – Ботаника	1.5.9. Ботаника
03.02.07 – Генетика	1.5.7. Генетика
03.02.08 – Экология	1.5.15. Экология
03.02.13 – Почвоведение	1.5.19. Почвоведение
03.02.14 – Биологические ресурсы	1.5.20. Биологические ресурсы
03.03.01 – Физиология	1.5.5. Физиология человека и животных
03.03.06 – Нейробиология	1.5.24. Нейробиология
Географические науки	
25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов	1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов
25.00.36 – Геоэкология	1.6.21. Геоэкология

Подписной индекс журнала по Объединенному каталогу «Пресса России» – **85004**

© МПГУ, 2022

ISSN 2500-2961

ENVIRONMENT AND HUMAN:
ECOLOGICAL STUDIES

2022. Vol. 12. No. 2

Socialno-ecologicheskie Technologii

The Founder and Publisher:
Moscow Pedagogical State University

Mass media registration certificate
ПИ № ФС 77–67765
as of 17.11.2016

Editorial office:
Moscow, Russia, Verhnyaya Radishchevskaya str., 16–18, room 223, 109240

The journal is included in the list of the leading peer-reviewed scholarly journals the Higher Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation recommended to PhD candidates and those working for their habilitation who wish to publish the results of their research

The journal has been published since 2011

The journal is published 4 times a year

E-mail: izdat_mgopu@mail.ru

Information on journal can be accessed via: soc-ecol.ru

© MPGU, 2022

Редакционная коллегия

Главный редактор

Марина Викторовна Костина – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Заместитель главного редактора

Зинаида Ивановна Гордеева – кандидат географических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

Ответственный секретарь

Екатерина Олеговна Королькова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; доцент кафедры клеточной биологии факультета биологии и биотехнологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва

Павел Алексеевич Агапов – кандидат биологических наук; доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

Ирина Олеговна Алябина – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры географии почв факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ирина Вениаминовна Беляева-Чемберлен – доктор биологических наук; редактор содержания (номенклатура и таксономия) баз данных растений и грибов отдела «Биоразнообразие, биоинформатика и анализ распространения растений», Королевские ботанические сады, Кью, Великобритания

Владимир Владимирович Бобров – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории сохранения биоразнообразия и использования биоресурсов, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

Алексей Владимирович Богданов – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории прикладной физиологии высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Василий Николаевич Бурдь – доктор химических наук (ВАК Республики Беларусь); профессор кафедры химии и химической технологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

Владимир Павлович Викторов – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Юлия Константиновна Виноградова – доктор биологических наук; главный научный сотрудник отдела флоры, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва

Юрий Никифорович Водяницкий – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; профессор кафедры общего почвоведения факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ольга Владимировна Галанина – кандидат биологических наук; доцент кафедры биогеографии и охраны природы Института наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

Владимир Борисович Дорохов – доктор биологических наук; заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Александр Сергеевич Зернов – доктор биологических наук; профессор кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Василий Иванович Ерошенко – кандидат педагогических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

Сергей Вячеславович Левыкин – доктор географических наук, профессор; заведующий отделом степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург

Дмитрий Леонидович Лопатников – доктор географических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии РАН, г. Одинцово Московской обл.

Татьяна Михайловна Лысенко – доктор биологических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия, Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти Самарской области; ведущий научный сотрудник лаборатории общей геоботаники, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

Ирина Владимировна Лянгузова – доктор биологических наук, старший научный сотрудник; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии растительных сообществ, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

Наталья Олеговна Минькова – кандидат биологических наук, доцент; заместитель проректора по учебной работе, Севастопольский государственный университет

Сергей Владимирович Наугольных – доктор геолого-минералогических наук, профессор; главный научный сотрудник лаборатории палеофлористики, Геологический институт РАН, г. Москва

Наталия Борисовна Панкова – доктор биологических наук, доцент; главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, г. Москва

Светлана Камильевна Пятунина – кандидат биологических наук, доцент; директор Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Владимир Николаевич Сальков – доктор медицинских наук; старший научный сотрудник лаборатории функциональной морфохимии Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

Олег Викторович Созинов – доктор биологических наук, доцент (ВАК Республики Беларусь); заведующий кафедрой ботаники, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

Владимир Семёнович Фридман – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Алексей Владимирович Чернов – доктор географических наук, доцент; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Андрей Викторович Щербаков – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Михаил Сергеевич Яблоков – кандидат биологических наук; эксперт WWF России

Владимир Иванович Яшкичев – доктор химических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

Editorial Board

Editor-in-Chief

Marina V. Kostina – professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

Deputy Chief Editor

Zinaida I. Gordeeva – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

Executive secretary

Ekaterina O. Korolkova – associate professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; Associate Professor at the Department of Cell Biology of the Faculty of Biology and Biotechnologies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Pavel A. Agapov – associate professor at the Department of Anatomy and Physiology at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; researcher at the Anatomy and Architectonics Laboratory at the Brain Research Department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Irina O. Alyabina – professor at the Soil Geography Department at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

Irina V. Belyaeva-Chamberlain – content editor – Plant & Fungal Names, Biodiversity Informatics & Spatial Analysis, Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom

Vladimir V. Bobrov – senior researcher at the Laboratory of Biodiversity Conservation and Use of Biological Resources, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Aleksej V. Bogdanov – head at the Laboratory of General Physiology of Temporary Connections, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vasilii N. Burd – professor at the Department of Chemistry and Chemical Technology at the Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

Aleksei V. Chernov – leading researcher at the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes at the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Russia

Vladimir B. Dorohov – head at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vasilii I. Eroshenko – head at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

Vladimir S. Friedman – senior researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Conservation at the Department of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

Olga V. Galanina – associate professor at the Department of Biogeography and Environmental Protection at the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia

Sergey V. Levykin – Head at the Department of Steppe Studies and Nature Management, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Dmitry L. Lopatnikov – senior researcher at the World Development Geography Laboratory, Institute of Geography RAS, Odintsovo, Moscow region, Russia

Irina V. Lyanguzova – leading researcher at the Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Institute of Botany, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Tatyana M. Lysenko – senior researcher at the Laboratory of Phytodiversity Problems, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Science, Togliatti, Samara region, Russia

Natalia O. Minkova – deputy vice-rector for Academic Affairs, Sevastopol State University, Russia

Serge V. Naugolnykh – chief scientific officer at the Laboratory of Paleofloristics, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Natalia B. Pankova – chief scientific officer at the Laboratory of Physical-Chemical and Environmental Pathophysiology, Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

Svetlana K. Piatunina – director at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

Vladimir N. Salkov – senior researcher at the Laboratory of Functional Morphochemistry, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Andrei V. Scherbakov – leading researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Nature Protection of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

Oleg V. Sozinov – head at the Department of Botany, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

Yulia K. Vinogradova – chief researcher at the Flora Department, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vladimir P. Viktorov – head at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

Yury N. Vodyanitsky – professor at the Department of General Soil Science at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

Mikhail S. Yablokov – expert WWF Russia

Vladimir I. Yashkichev – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

Aleksandr S. Zernov – professor at the Department of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

Содержание

ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

Ю.И. Мануков, И.В. Редекоп

Оценка состояния популяции обыкновенного ужа (*Natrix natrix* L., 1758) на охраняемых и рекреационных территориях национального парка «Лосиный остров» (Московский регион) 143

ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УРБОЭКОЛОГИЯ

Е.С. Дорогая, Р.Р. Сулейманов, И.Ю. Сайфуллин, А.О. Миннегалиев, С.В. Зайкин

Эрозионная устойчивость целинного чернозема и чернозема с классическим и No-Till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня 155

ОПЫТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

О.В. Созинов, А.И. Садковская

Экологическая дифференциация разновозрастных естественных и искусственных сообществ сосняка мшистого (заказник «Гродненская Пуща», Беларусь) 171

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

Ю.К. Виноградова, О.В. Шелепова

Смена парадигмы оценки результатов культивирования и расселения видов рода *Solidago* (декоративные растения – злостные инвазионные сорняки – лекарственные растения) 203

Е.В. Черняева, В.П. Викторов

Аллелопатические взаимодействия: перспективы прикладных исследований. 220

Contents

STUDY AND CONSERVATION
OF BIOLOGICAL DIVERSITY

Yu.I. Manukov, I.V. Redekop

Assessment of the state
of the grass snake (*Natrix natrix* L., 1758) population
in protected and recreational areas
of the Losiny Ostrov National Park
(Moscow metropolitan area) 143

ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS
AND URBAN ECOLOGY

*E.S. Dorogaya, R.R. Suleymanov,
I.Yu. Saifullin, A.O. Minnegaliev,
S.V. Zaikin*

Erosion resistance of virgin chernozem
and chernozem with classical and No-Till types
of cultivation under the conditions
of simulated heavy rainfall 155

EXPERIENCE ENVIRONMENTAL STUDY AREAS

O.V. Sozinov, A.I. Sadkovskaya

Ecological differentiation of different-aged natural
and artificial communities of pine forest with mosses
(“Grodnenskaya Pushcha” reserve, Belarus) 171

ANALYTICAL REVIEWS

Yu.K. Vinogradova, O.V. Shelepova

A paradigm shift in the evaluation
of the North American species of *Solidago*
(ornamental plants –
noxious invasive weeds – medicinal plants) 203

E.V. Chernyaeva, V.P. Viktorov

Allelopathic interactions:
Prospects of applied research 220

Социально-экологические технологии
2022. Т. 12. № 2

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-143-154

Ю.И. Мануков, И.В. Редекоп

Московский государственный областной университет,
141014 г. Мытищи, Московская область, Российская Федерация

Оценка состояния популяции обыкновенного ужа (*Natrix natrix* L., 1758) на охраняемых и рекреационных территориях национального парка «Лосиный остров» (Московский регион)

Изучалось состояние популяции ужа обыкновенного (*Natrix natrix*) на трех территориях национального парка «Лосиный остров» (Московская агломерация): Лосиноостровский лесопарк (используется только как рекреационая зона), особо охраняемая зона и рекреационная зона Мытищинского лесопарка. В Мытищинском лесопарке обнаружено 63% от общего числа особей, в Лосиноостровском лесопарке – 37%. В то же время наибольшая численность от общего числа отловленных особей отмечается на рекреационных территориях Мытищинского лесопарка (37%) и в Лосиноостровском лесопарке (38%). Максимальная плотность составила 56 особей/га также в рекреационной зоне (Лосиноостровский лесопарк). Отмечены два пика численности в течение полевого сезона: в мае-июне и в конце августа – сентябре. Спад численности приходится на июль (от 0 до 4 особей/га). Выявлено, что половой состав самцов и самок находится в соотношении 1 : 1 на каждой исследуемой территории. Чаще всего встречались особи

© Мануков Ю.И., Редекоп И.В., 2022
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

длиною 31–70 см (36%) и реже всего – длиною больше 100 см (10%). Популяция обыкновенного ужа на территории национального парка «Лосиный остров» уверенно ощущает себя как на охраняемых природных зонах, так и в рекреационных с умеренно повышенным антропогенным фактором.

Ключевые слова: обыкновенный уж, *Natrix natrix*, национальный парк «Лосиный остров», пресмыкающиеся Москвы, пресмыкающиеся Московской области, плотность популяции ужа обыкновенного, половозрастная структура ужа обыкновенного

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мануков Ю.И., Редекоп И.В. Оценка состояния популяции обыкновенного ужа (*Natrix natrix* L., 1758) на охраняемых и рекреационных территориях национального парка «Лосиный остров» (Московский регион) // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 143–154. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-143-154

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-143-154

Yu.I. Manukov, I.V. Redekop

Moscow Region State University,
Mytishi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

Assessment of the state of the grass snake (*Natrix natrix* L., 1758) population in protected and recreational areas of the Losiny Ostrov National Park (Moscow metropolitan area)

The state of the *Natrix natrix* population in the protected area of the Mytishchi Forest Park and the recreational zone of the Losinoostrovsky Forest Park of the National Park “Losiny Ostrov” was studied. In the Mytishchi forest park, the share of snakes was 63% of the total, in the Losinoostrovsky forest park – 37%. At the same time, the largest number of snakes is observed in recreational areas of Mytishchi Forest Park (37%) and Losinoostrovsky Forest Park (38%). The maximum density of snakes was 56 ind./ha also in recreational area

of Losinoostrovsky Forest Park. There were two peaks in abundance during the field season in May-June and late August – September. The decline in numbers occurs in July, when the number ranged from 0 to 4 ind./ha. It was found that the sex composition of males and females is in the ratio of 1 : 1 in each study area. Most individuals were found with a length of 31–70 cm – 36%, and the least number of individuals longer than the norm of 100 cm – 10%. The grass snake population on the territory of the Losiny Ostrov National Park feels safe both in protected natural areas and in recreational areas with a moderately increased anthropogenic factor.

Key words: grass snake, *Natrix natrix*, Losiny Ostrov National Park, reptiles of Moscow, reptiles of the Moscow region, grass snake population density, sex and age structure of grass snake

FOR CITATION: Manukov Yu.I., Redekop I.V. Assessment of the state of the grass snake (*Natrix natrix* L., 1758) population in protected and recreational areas of the Losiny Ostrov National Park (Moscow metropolitan area). *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 143–154. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-143-154

Введение

Несмотря на относительную изученность биологии и экологии рептилий на территории Московского региона, остается много нерешенных вопросов по их обитанию на антропогенно трансформированных территориях. Москва и Московская область – наиболее урбанизированный регион России. В этих условиях вопросы охраны фауны встают особенно остро.

Обыкновенный уж (*Natrix natrix* L., 1758) наиболее широко распространенный и многочисленный вид семейства ужеобразных (Colubridae), обитающий в европейской части России [Ананьева и др., 2004]. Занесен в Красные книги Москвы (категория 1 в первом издании и категория 2 – во втором) и Московской области (категория 2) [Красная книга Московской области, 1998; Красная книга города Москвы, 2001; Красная книга Москвы, 2011]. Несколько десятилетий назад был обычным видом Подмосковья, ныне численность заметно сократилась [Красная книга Московской области, 2008].

Особый вклад в восстановление и поддержание численности популяций рептилий в Московском регионе вносят изолированные природные комплексы. Одним из таких комплексов является национальный парк «Лосиный остров».

Цель и задачи

Целью данного исследования было изучение состояния популяции ужа обыкновенного в рекреационной (открыта для свободного посещения) и особо охраняемой (доступ разрешен по согласованию с администрацией или в сопровождении сотрудников парка) зонах национального парка «Лосиный остров». Изучалась популяция ужа в рекреационной и особо охраняемой зонах Мытищинского лесопарка и в Лосиноостровском лесопарке (используется целиком как рекреационная зона). Обе эти территории входят в состав национального парка «Лосиный остров».

Для реализации цели были поставлены следующие задачи: изучить расселение ужа обыкновенного на охраняемой и рекреационной территориях; рассчитать относительную численность ужей на охраняемой и рекреационной территориях; дать количественную оценку встреченных особей ужей в Мытищинском и Лосиноостровском лесопарках.

Материалы и методы

Исследования проводились на участках смешанного леса Лосиноостровского и Мытищинского лесопарков национального парка «Лосиный остров».

Учет проводился стандартным методом маршрутного учета [Новиков, 1949; Романов, Мальцев, 2005].

Исследования выполнялись с апреля по сентябрь 2021 г.

За период исследований было отработано более 50 часов учета и пройдено более 100 км маршрута.

Для исследования рептилий были проложены маршруты длиною 10 км. На территории Мытищинского лесопарка маршрут начинался в квадрате 58 и заканчивался в квадрате 69. Трансекта проходила через квадраты 59, 65, 31, 32, 41, 42, 51, 52, 66, 67, 68 и 69 (рис. 1). Мытищинский лесопарк был разделен нами на два участка: особо охраняемую зону, включающую в себя квадраты 65, 31, 32, 41, 42, 51, 52, 66, 67, 68 и 69, а также на территорию, условно называемую «чугунным мостом», она расположена в квадратах 58 и 59 и является рекреационной зоной.

На территории Лосиноостровского лесопарка, используемого целиком как рекреационная зона, маршрут начинался в квадрате 3 и заканчивался в квадрате 28. Вся длина маршрута проходила от начала до конца через квадраты 8, 14, 15, 30, 29 и 28 (см. рис. 1).

Рис. 1. Карта национального парка «Лосиный остров» (https://losinyiostrov.ru/)

Fig. 1. Map of the Losiny Ostrov National Park (https://losinyiostrov.ru/)

Результаты

В 2021 г. первые особи были обнаружены нами только в первых числах мая, что связано с поздней весной и низкими температурами в апреле (днем температура составляла в среднем +10 °C, а ночью опускалась ниже 0 °C). Последняя обнаруженная особь была зарегистрирована в сентябре.

Всего за шесть месяцев исследования было отловлено 189 особей обыкновенного ужа, из которых большинство было отмечено на территории Мытищинского лесопарка (63%). Однако если рассматривать каждую выделенную территорию отдельно, то вырисовывается несколько иная картина.

Наибольшее количество ужей было отмечено на территории Мытищинского лесопарка вблизи «чугунного моста» (38%), которая используется как рекреационная зона. Совсем немного отстает территория Лосиноостровского лесопарка, где было отловлено 37% ужей от общего числа. За весь период учета в особо охраняемой зоне было учтено меньше всего особей данного вида – 25%.

Ужи предпочитают придерживаться прибрежной полосы. Так, в Лосиноостровском лесопарке они предпочитают обитать вдоль русла р. Лось и по берегам оз. Лось, а в Мытищинском лесопарке придерживаются берегов Верхнеяузского водно-болотного комплекса. В лесном массиве вдали от водоемов встречаются единичные неполовозрелые экземпляры.

Наименьшее число ужей было отмечено в первой половине июля на всех исследуемых территориях (табл. 1). В районе «чугунного моста» (рекреационная зона Мытищинского лесопарка) и в Лосиноостровском лесопарке плотность составляла 4 особей/га, тогда как в особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка снизилась до нуля (рис. 2). С большой вероятностью это могло быть связано с высокой температурой окружающей среды, когда температура поднималась выше 35 °C, и низкой влажностью, что привело к сокращению численности амфибий – основного источника пищи для обыкновенного ужа.

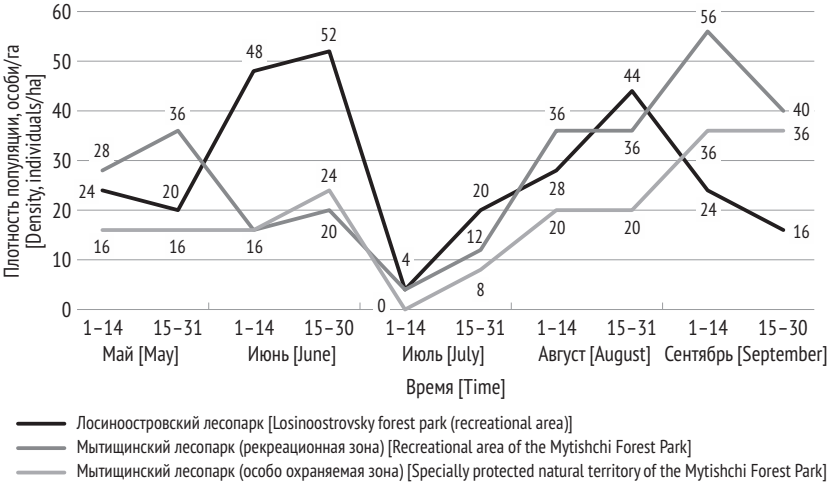

Рис. 2. Колебания плотности популяции ужа в национальном парке «Лосиный остров» (май-сентябрь 2021 г.)

Fig. 2. Fluctuations in the density of the grass snake in the Losiny Ostrov National Park (May-September 2021)

Максимальная плотность популяции была отмечена в первой половине сентября в окрестностях «чугунного моста» (рекреационная зона в Мытищинском лесопарке), где достигла 56 особей/га. Помимо этого, высокая плотность на данном участке была отмечена в начале мая – 28–36 особей/га.

Таблица 1

Количество особей ужа обыкновенного, встреченных в мае-сентябре 2021 г. на территории национального парка «Лосиный остров»
[The number of common grass snakes encountered in May-September 2021 on the territory of the Losiny Ostrov National Park]

Месяц [Month]	Дата учета [Posting date]	Количество особей [Number of individuals]		
		Лосиноостровский лесопарк [Losinoostrovsky Forest Park (recreational area)]	Мытищинский лесопарк [Mytishchi Forest Park]	
			Рекреационная зона [Recreational area]	Особо охраняемая зона [Specially protected zone]
Май [May]	1–14	6	7	4
	15–31	5	9	4
Июнь [June]	1–14	12	4	4
	15–30	13	5	6
Июль [July]	1–14	1	1	0
	15–31	5	3	2
Август [August]	1–14	7	9	5
	15–31	11	9	5
Сентябрь [September]	1–14	6	14	9
	15–30	4	10	9
Всего [Total]		70	71	48
			119	
		189		

Высокая плотность, до 52 особей/га, была также отмечена на территории Лосиноостровского лесопарка, а в особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка плотность достигла максимальной отметки лишь в сентябре – 36 особей/га.

Из 189 экземпляров ужа обыкновенного, отловленных за время исследований, количество самок и самцов было почти одинаковым (табл. 2).

Таблица 2

Половая структура популяции ужа обыкновенного на территории национального парка «Лосиный остров» (май-сентябрь 2021 г.) [Sex-based structure of the grass snake population in the Losiny Ostrov National Park (May-September 2021)]

Территория [Territory]	Количество особей [Number of individuals]			
	Самки [Females]	Самцы [Males]	Пол не определен [Sex not defined]	Всего [Total]
Лосиноостровский лесопарк [Losinoostrovsky Forest Park (Recreational area)]	27	25	18	70
Рекреационная зона (Мытищинский лесопарк) [Recreational area of the Mytishchi Forest Park]	30	36	5	71
Особо охраняемая зона (Мытищинский лесопарк) [Protected natural territory of the Mytishchi Forest Park]	14	16	18	48
Всего [Total]	71	77	41	189

Половую принадлежность 41 (22%) отловленной особи определить не удалось. Это были экземпляры, как правило, не превышающие 30 см в длину – молодые, неполовозрелые особи, не участвующие в размножении. Соотношение же самцов и самок почти 1 : 1 (41% самцов, 37% самок). За пять месяцев исследований суммарно на всех территориях было поймано 71 самка и 77 самцов.

При анализе половой структуры на каждой территории по отдельности можно увидеть сходную картину. На всех трех территориях мы видим примерно одинаковое соотношение самцов и самок.

В особо охраняемой зоне преобладали самцы и неопределенные по полу особи, но их число лишь незначительно превосходило количество самок. Обратную картину мы видим на территории Лосиноостровского лесопарка, где количество самок немного превосходят число самцов. Также на рекреационной территории встретилось большое количество неопределенных по полу экземпляров.

Как было сказано выше, неопределенные по полу особи являются молодыми, не превосходящими 30 см по длине тела. Самый маленький встреченный экземпляр был в длину 15 см, а самая крупная пойманная особь от кончика носа до кончика хвоста составила 125 см.

Из всех отловленных экземпляров молодые составляют 22%, тогда как чаще всего встречаемые были змеи, имеющие длину тела от 31 см до 70 см – 36% (табл. 3).

Таблица 3

Длина тела особей ужа обыкновенного, выловленных на различных участках территории национального парка «Лосиный остров» (май-сентябрь 2021 г.) [Body length of *Natrix natrix* caught in different parts of the Losiny Ostrov National Park (May–September 2021)]

Длина тела, см [Body length, cm]	Количество особей [Number of individuals]			
	Лосиноостровский лесопарк [Losinoostrovsky Forest Park (recreational area)]	Мытищинский лесопарк [Mytishchi Forest Park]		Всего [Total]
		Рекреационная зона [Recreational area]	Особо охраняемая зона [Protected natural area]	
15–30	18	5	18	41
31–70	23	32	14	69
71–100	20	26	14	60
101–125	9	8	2	19

Из литературных источников известно, что наиболее часто встречаемые размеры для взрослых особей ужа обыкновенного – от 71 до 100 см. Наши данные совпали: 32% от общего числа были особи длиною от 71 до 100 см. В то же время нами были встречены особи и более крупных размеров. Всего за пять месяцев исследования было замечено 19 особей длиною более 100 см, что составляет 10% от общего числа отловленных экземпляров.

Особи длиною больше метра встречались чаще всего на территории Лосиноостровского лесопарка и в рекреационной зоне Мытищинского лесопарка (в районе «чугунного моста»), тогда как в особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка они были замечены всего два раза. Напротив, молодые особи попадались в малом количестве в районе «чугунного моста». За пять месяцев их было отловлено всего пять экземпляров. Ужи из двух других категорий по длине тела встречаются в больших количествах на всей территории национального парка «Лосиный остров».

В течение полевого сезона 2021 г. на территории национального парка «Лосиный остров» отмечается два пика численности обыкновенного ужа. В рекреационной зоне Мытищинского лесопарка (окрестностях «чугунного моста») пики приходятся на конец мая и первую половину сентября с плотностью 36 и 56 особей/га соответственно. В особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка – конец июня и сентябрь с плотностью населения 24 и 36 особей/га соответственно. В Лосиноостровском лесопарке пики численности отмечены в конце июня и конце августа, где плотность населения составила 52 и 44 особей/га соответственно.

Можно предположить, что в районе «чугунного моста» находится место общей зимовки обыкновенного ужа. Данные выводы подтверждаются тем, что в мае и сентябре здесь наблюдается массовое скопление змей, что свидетельствует о том, что большое число особей выходит и возвращается к месту зимовки в данные месяцы. Также данное суждение можно подтвердить тем, что возле моста встречаются особи практически всех размеров, что и происходит при совместной зимовке.

Также в сентябре в особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка отмечается повышение численности ужей, что тоже может быть связано с миграцией змей и подготовке к зимней спячке.

Выводы

В целом, на территории Мытищинского лесопарка численность обыкновенного ужа выше, чем на территории Лосиноостровского лесопарка – 63 и 37% соответственно из общего количества. В то же время наибольшая численность ужей отмечается на рекреационных территориях: в района «чугунного моста» Мытищинского лесопарка и в Лосиноостровском лесопарке, где доля отловленных особей составила 37 и 38% соответственно от общего числа.

Максимальная зарегистрированная численность ужа составила 56 особей/га. Отмечены два пика численности в течение полевого сезона, связанные с периодами размножения и подготовки к зимовке. Спад численности приходится на июль.

Количество самцов и самок находятся в соотношении 1 : 1 не только в целом по национальному парку, но и на каждой отдельной территории, что является показателем стабильности популяции.

Больше всего отмечено змей длиной от 31 до 70 см. Особи длиною больше 100 см встречаются крайне редко, т.к. не все особи доживают до таких размеров. Набольшее количество их отмечено на террито-

рии Лосиноостровского лесопарка, тогда как в особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка они почти не встречались. Число молодых особей длиною меньше 30 см составляет 22% от общего числа. Больше всего их замечено в особо охраняемой зоне Мытищинского лесопарка и на территории Лосиноостровского лесопарка. На территории близ «чугунного моста» замечены в малых количествах.

Таким образом, популяция обыкновенного ужа на территории национального парка «Лосиный остров» уверенно ощущает себя как в особо охраняемых, так и в рекреационных зонах изолированных природных комплексов с умеренно повышенным антропогенным фактором.

Библиографический список / References

Атлас пресмыкающихся Северной Евразии (таксономическое разнообразие, географическое распространение и природоохранный статус) / Ананьева Н.Б., Орлов Н.Л., Халиков Р.Г. и др. СПб., 2004. [Ananyeva N.B., Orlov N.L., Khalikov R.G. et al. Atlas presmykayushchihsya Severnoj Evrazii (taksonomicheskoe raznoobrazie, geograficheskoe rasprostranenie i prirodoohrannyj status) [Atlas of reptiles of Northern Eurasia (taxonomic diversity, geographic distribution and conservation status)]. St. Petersburg, 2004.]

Красная книга города Москвы / Отв. ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. М., 2001. [Krasnaya kniga goroda Moskvy [Red book of the city of Moscow]. B.L. Samoilov, G.V. Morozov (eds.). Moscow, 2001.]

Красная книга Москвы. 2-е изд., перераб. и доп. / Отв. ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. М., 2011. [Krasnaya kniga Moskvy [Red Book of Moscow]. 2nd ed., revised. and additional. B.L. Samoilov, G.V. Morozov (eds.). Moscow, 2011.]

Красная книга Московской области / Отв. ред. В.А. Зубакин, В.Н. Тихомиров. М., 1998. [Krasnaya kniga Moskovskoj oblasti [Red Book of the Moscow Region]. V.A. Zubakin, V.N. Tikhomirov (eds.). Moscow, 1998.]

Красная книга Московской области. 2-е изд. / Под ред. А.С. Качана. М., 2008. [Krasnaya kniga Moskovskoj oblasti [Red Book of the Moscow Region]. 2nd ed. A.S. Kachan (ed.). Moscow, 2008.]

Новиков Г.А. Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных. М., 1949. [Novikov G.A. Polevye issledovaniya ekologii nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh [Field studies of the ecology of terrestrial vertebrates]. Moscow, 1949.]

Романов В.В., Мальцев И.В. Методы исследований экологии наземных позвоночных животных: количественный учет. Владимир, 2005. [Romanov V.V., Maltsev I.V. Metody issledovaniy ekologii nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh: kolichestvennyy uchet [Methods for researching the ecology of terrestrial vertebrates: Quantitative accounting]. Vladimir, 2005.]

Статья поступила в редакцию 22.02.2022, принята к публикации 13.04.2022
The article was received on 22.02.2022, accepted for publication 13.04.2022

Сведения об авторах / About the authors

Мануков Юрий Иванович – кандидат биологических наук; доцент кафедры общей биологии и биоэкологии факультета естественных наук, Московский государственный областной университет, г. Мытищи Московской обл.

Yury I. Manukov – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of General Biology and Bioecology of the Faculty of Natural Sciences, Moscow Region State University, Mytishi, Moscow Region, Russian Federation

E-mail: manukov1@yandex.ru

Редекоп Илья Викторович – магистрант кафедры общей биологии и биоэкологии факультета естественных наук, Московский государственный областной университет, г. Мытищи Московской обл.

Ilya V. Redekop – MA-student at the the Department of General Biology and Bioecology of the Faculty of Natural Sciences, Moscow Region State University, Mytishi, Moscow Region, Russian Federation

E-mail: redekopila@gmail.com

Заявленный вклад авторов

Ю.И. Мануков – руководство и организация исследований, проведение полевых исследований, анализ полученных результатов, подготовка текста статьи, редактирование статьи

И.В. Редекоп – проведение полевых исследований, камеральная обработка материала, подготовка текста статьи

Contribution of the authors

Yu.I. Manukov – governance and organization of research, field research, analysis of the results, preparation of the text of the article, editing the article

I.V. Redekop – conducting field research, cameral processing of the material, preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

Е.С. Дорогая[1], Р.Р. Сулейманов[1], И.Ю. Сайфуллин[2], А.О. Миннегалиев[2], С.В. Зайкин[1]

[1] Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450054 г. Уфа, Российская Федерация

[2] Башкирский государственный университет, 450076 г. Уфа, Российская Федерация

Эрозионная устойчивость целинного чернозема и чернозема с классическим и No-Till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня

Глобальные климатические изменения стали причиной увеличения силы, частоты и продолжительности экстремальных осадков. Это повышает риски развития эрозии сельскохозяйственных земель в результате увеличения доли поверхностного стока. В лабораторных условиях проведена оценка скорости возникновения стока и интенсивности эрозии монолитных образцов почв, отобранных с трех близкорасположенных участков, отличающихся методом землепользования: с классической обработкой, No-Till обработкой и целинными землями. Опыты провели на дождевальной установке с установленным уровнем орошения, соответствующим природному сильному ливню в течение 30 минут при трех углах уклона: 1°, 3° и 7°. Наибольшая степень смыва почв установлена у образцов с классической

© Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю., Миннегалиев А.О., Зайкин С.В., 2022
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

обработкой почвы, наименьшая – у целинных земель. Подверженность водной эрозии почв с No-Till обработкой сильно зависит от угла уклона и существенно снижается при его увеличении, но имеет более высокие значения, чем для почв с классической обработкой. Устойчивость к эрозии почв с No-Till обработкой при угле наклона почвы 1° в 3,6 раз ниже, чем для целины, и в 4,2 раза выше, чем для почвы с классической обработкой; при угле наклона 3°– в 3,6 раз ниже, чем для целины, и в 8,2 раза выше, чем для почвы с классической обработкой; при угле наклона 7°– в 9,3 раз ниже целины и в 4,2 раз выше, чем у почв с классической обработкой.

Ключевые слова: экстремальные осадки, эрозия почв, No-Till, устойчивость к эрозии почв, метод землепользования

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190102-3.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Эрозионная устойчивость целинного чернозема и чернозема с классическим и No-Till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня / Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю. и др. // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 155–170. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

E.S. Dorogaya[1], R.R. Suleymanov[1], I.Yu. Saifullin[2], A.O. Minnegaliev[2], S.V. Zaikin[1]

[1] Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ufa, 450054, Russian Federation

[2] Bashkir State University,
Ufa, 450076, Russian Federation

Erosion resistance of virgin chernozem and chernozem with classical and No-Till types of cultivation under the conditions of simulated heavy rainfall

Global climatic changes have caused an increase in the severity, frequency and duration of extreme precipitation, which increases the risks of erosion of agricultural land as a result of an increase in the share of surface runoff. Under laboratory conditions, an assessment was made of the rate of runoff and the intensity of erosion of monolithic soil samples taken from three closely located plots that differ in the method of land use: with classical tillage, No-Till, and virgin lands. The experiments were carried out on a sprinkler with a set irrigation level corresponding to a natural heavy rainfall for 30 minutes at three slope angles: 1°, 3° and 7°. The highest degree of soil washout was found in samples with classical tillage, and the lowest in virgin lands. The susceptibility to water erosion of soils with No-Till treatment strongly depends on the slope angle and decreases significantly with its increase but has higher values than for soils with classical treatment. Depending on the slope angle, soil erosion resistance with No-Till is 3.6 times lower than for virgin lands and 4.2 times higher than for classical tillage at 1°, 3.6 times lower than for virgin lands and 8.2 times higher than for classical processing at 3°, and at 7°– 9.3 times lower than virgin soil and 4.2 times higher than classical treatment.

Key words: extreme precipitation, soil erosion, No-Till, resistance to soil erosion, land use method

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-00326-19-00 on the topic No. AAAA-A18-118022190102-3.

FOR CITATION: Dorogaya E.S., Suleymanov R.R., Saifullin I.Yu. et al. Erosion resistance of virgin chernozem and chernozem with classical and No-Till types of cultivation under the conditions of simulated heavy rainfall. *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 155–170. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-155-170

Введение

Стремительное изменение климата на планете ведет к увеличению числа экстремальных погодных явлений. Оценка интенсивности, частоты и продолжительности осадков, проведенная для разных частей земного шара, привела к неутешительным выводам о тенденции к увеличению количества экстремальных осадков и их большей силе и частоте в сочетании с периодами сильной засухи в долгосрочном прогнозе [Li et al., 2019; Hosseinzadehtalaeia, Tabaria, Willems, 2020; Marras et al., 2021]. Для сельскохозяйственной практики такие изменения означают увеличение развития почвенной эрозии [Папцов, Шеламова, 2018; Zhao et al., 2021]. В связи с этим необходимо более тщательное изучение воздействия меняющейся окружающей среды на существующие методы землепользования.

Республика Башкортостан входит в число сельскохозяйственных регионов Российской Федерации, поэтому исследование эрозионной устойчивости почв здесь является актуальным вопросом [Эродированные почвы…, 2015; Атмосферная циркуляция…, 2018]. Кроме того, изучение климатических изменений данной местности за последние десятилетия выявило увеличение длительности засушливых периодов и повышение повторяемости аномальных осадков [Галимова, Переведенцев, Яманаев, 2019; Галимова, 2020]. Подобное чередование засухи и интенсивного орошения увеличивает степень как ветровой, так и водной эрозии почв, при этом водная эрозия повышается также за счет большей эрозии разбрызгивания и разрушения макроагрегатов при повышении скорости падения и увеличении размера капель [Fu et al., 2017].

К настоящему времени разработано множество практик ведения сельского хозяйства, способствующих снижению эрозионного влияния

окружающей среды на обрабатываемые земли [Liu et al., 2019; Wells et al., 2019; Эффективность технологии прямого посева…, 2020; Влияние способов посева…, 2020; Du et al., 2021]. Известно, что одним из эффективных методов является применение технологии No-Till (NT). За счет сохранения целостности поверхности почвенного покрова и почвенных агрегатов, большей структурированности и влагопрочности почв в результате увеличения содержания гумуса при накопления органического углерода из пожнивых остатков, метод NT-обработки показывает хорошие результаты в уменьшении времени образования поверхностного стока и выноса с ним почвенных частиц, что снижает влияние осадков на появление почвенной эрозии [Ferreira et al., 2020; Carretta et al., 2021; Du et al., 2021].

Проведенные в данной работе исследования направлены на оценку воздействия сильного продолжительного ливня на скорость и интенсивность эрозии сельскохозяйственных земель, обрабатываемых с помощью технологии NT на территории Абзелиловского района Республики Башкортостан. Эксперименты проводились в лабораторных условиях на дождевальной установке. Для сравнительного анализа показателей использовались пробы почв с трех участков, находящихся в практически одинаковых природно-климатических условиях, но с разными типами землепользования: пашня с классической обработкой почв, земли с системой обработки No-Till и целинная степь. Формирование стока поверхностных вод происходило при моделировании уклона в 1°, 3° и 7°, что соответствовало выположенному рельефу изучаемой местности, в которой преобладают уклоны земной поверхности менее 10° [Атлас Республики Башкортостан, 2005].

Объекты и методы

Отбор проб для лабораторного исследования проводился на территории сельскохозяйственного производственного кооператива «Красная Башкирия» в Абзелиловском районе Республики Башкортостан. Местность относится к Зауральской равнине Зауральской степной зоны Кизило-Уртазымской равнины. Характер рельефа равнинный с денудационно-аккумулятивным типом. Почвы представлены в основном черноземом обыкновенным на делювиальной почвообразующей породе, по механическому составу относящемуся к глинам и тяжелым суглинкам. Мощность гумусового горизонта достигает 40–50 см, со средним составом общего гумуса 7–8%. Почвы региона характеризуются слабой эродированностью с преимущественным проявлением ветровой и слабой водной эрозии. В земельном фонде преобладают пашни

(распаханность до 59,2%). Освоенность сельскохозяйственных почв – 82,2%, эродированность сельскохозяйственных угодий достигает значений 47,7% [Атлас Республики Башкортостан, 2005].

Климат исследуемой территории континентальный с жарким засушливым летом и холодной малоснежной зимой, большая часть осадков выпадает в теплое время года. Средние многолетние характеристики, определенные по метеостанции Верхнеуральск, за период 1966–2019 гг. составляют:

− среднегодовая температура воздуха 1,43 °C;
− годовая сумма осадков 403,74 мм;
− годовая сумма жидких осадков 292,71 мм[1].

Известно, что скорость проявления и интенсивность эрозии зависят от свойств почв, климатических условий района расположения, угла уклона участка и растительности [Pan et al., 2017; Гочияева, Гедиев, Токова, 2018; Zhou et al., 2019; Nicosia et al., 2020; de Almeid et al., 2021; Sun et al., 2021].

С целью минимизации различий во влиянии этих факторов на почвы в проведенном исследовании анализировались близкорасположенные участки, формирование почв на которых происходит в практически одинаковых природно-климатических условиях. Кроме того, почвы всех участков имели сходный гранулометрический состав, тяжелосуглинистую структуру и содержание общего гумуса, соответствующее показателям высокой обеспеченности [Кирюшин, 1996]: 6,34% для почв с классической обработкой, 6,48% для почв NT-обработкой и 8,84% для целины.

Для сельскохозяйственных земель кроме перечисленных существует также антропогенный фактор влияния на развитие эрозионных нарушений, который зависит от типа и метода управления сельхозугодьями [Оценка состояния агрочерноземов…, 2014].

Проведена оценка влияния типа землепользования на скорость и интенсивность эрозии с помощью модельных опытов по искусственному орошению. В качестве образцов использованы монолиты почв пахотного горизонта (0–20 см), помещенные в пластиковые лотки длинной 1 м, высотой 0,2 м и шириной 0,15 м. Пробы почв отбирались со следующих участков:

− с классической обработкой почв, зернопропашного севооборота: выровненная часть пологого склона, на момент отбора проб почв поле

[1] Специализированные массивы для климатических исследований. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml (дата обращения: 06.11.2021).

было вспахано после сбора урожая подсолнечника, почва – чернозем обыкновенный;

- участок с NT-обработкой с 1991 г.: выровненная часть слабопологого склона, на момент отбора проб почв с поля был убран урожай пшеницы (*Triticum acstivum* L.), на поверхности оставлена стерня, почва – чернозем обыкновенный;
- целина: выровненная часть слабопологого склона, степь Заволжско-казахстанско-разнотравно-дерновинного типа растительности, представленной ковылем Залесского, овсецом пустынным, типчаком и осокой приземистой, почва – чернозем обыкновенный.

Для каждого участка отобрано по три монолита почв, которые затем высушивались до воздушно-сухого состояния.

Опыты проведены в лабораторных условиях на дождевальной установке, подробная конструкция которой изложена в работе [Соболь, 2016] при углах наклона 1°, 3° и 7° и интенсивности полива 6–7 мм/мин. Время проведения занимало 30 минут с момента начала поверхностного стока. Длительность периода между временем начала опыта и началом поверхностного стока фиксировалась, т.к. время появления поверхностного стока является одним из основных показателей устойчивости почвы к эрозионному воздействию в случае водной эрозии. Большая продолжительность указанного периода соответствует большей эрозионной устойчивости. Изменение интенсивности эрозии в течение эксперимента определено отбором промежуточных проб смыва в начальный момент появления поверхностного стока (0 мин), через 3 и далее 5, 8, 15 и 30 (конец опыта) минут. Пробы отбирались в бюксы известного объема и массы, высушивались в сушильном шкафу при температуре 90 °С и взвешивались, затем рассчитывалась концентрация смытых частиц в растворе (мутность), соответствующая определенному моменту от времени начала стока. Полученные в опыте данные подвергались статистической обработке и усреднялись по методике [Дмитриев, 1995].

Результаты и обсуждение

Проведено 27 опытов по искусственному орошению почв. Каждое сочетание типа участка и угла уклона исследовано в трех повторностях. С увеличением угла уклона время начала смыва сокращается для всех исследуемых участков, при этом поверхностный сток практически во всех случаях (кроме уклона 3°, когда для почв с NT и классической обработкой сток начинается одновременно) раньше всего начинается на участке с классической обработкой почвы и позже всего – на целинных

участках. NT-пробы имеют среднее время начала смыва, т.е. большую устойчивость к эрозионному воздействию, чем пашня, но меньшую, чем целина, причем с увеличением угла уклона устойчивость снижается, лишь ненамного превосходя показатели смыва с пашни: равные значения при угле наклона 3°, на полминуты позже – при 7° (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные значения результатов опытов по искусственному орошению почв [Average values of the results of experiments on artificial soil irrigation]

Тип почвы [Soil type]	Угол уклона, град. [Slope angle, degr.]	Время начала стока, мин [Runoff start time, min]	Время отбора проб смыва с начала появления поверхностного стока, мин [Runoff sampling time from the onset of surface runoff, minutes]					
			0	3	5	8	15	30
			Мутность стока, г/л [Drainage turbidity, g/l]					
Почва с классической обработкой [Soil with classic tillage]	1	3	12,11	6,70	7,74	7,18	3,30	1,49
	3	2	30,33	10,95	13,62	7,94	5,85	2,86
	7	0,3	0,27	39,96	22,65	22,93	7,35	2,68
Почва с NT-обработкой [Soil with No-Till tillage]	1	4	0,69	0,83	4,91	0,80	1,19	0,80
	3	2	1,33	2,70	1,43	1,06	1,19	1,03
	7	0,8	15,25	1,81	1,41	0,57	3,20	0,57
Целина [Virgin soil]	1	5	0,53	0,47	0,41	0,41	0,37	0,37
	3	3	0,36	0,44	0,54	0,54	0,29	0,29
	7	2	0,50	0,49	0,34	0,37	0,40	0,34

Характер смыва для почв с классической обработкой имеет схожий характер при всех углах уклона. Максимальное количество смытого вещества наблюдается в начале стока: 0 минут для уклона 1° и 3° (12,11 и 30,33 г/л соответственно), и 3 минуты при уклоне 7° (39,96 г/л), затем незначительное увеличение мутности происходит ко времени смыва 5 минут (уклон 1° и 3°) и 8 минут (уклон 7°), после чего идет плавное снижение мутности до конца эксперимента.

Такие результаты можно объяснить тем, что в начальный момент времени, по-видимому, происходит смыв легких фракций почвы, которые дают существенные показатели мутности, и лишь немного позже наблюдается «добегание» более тяжелых почвенных фрагментов (5-я минута при 1° и 3° и 8-я минута при 7°).

Отличие в интенсивности смыва в начальный момент времени между уклонами в 1° и 3° от уклона в 7° можно объяснить очень ранним началом стока и большей степенью «шероховатости» почвы при большом угле уклона. Вероятно, почвенные частицы не могли двигаться в потоке воды с достаточной скоростью, поэтому в начальный момент времени происходит лишь смыв воды с небольшим количеством пыли. «Добегание» при уклоне 7° наблюдается немного позже и составляет наибольшее количество по массе к 3-й минуте стока (39,96 г/л). В целом степень смыва при переходе к уклону 3° увеличилась в 1,86 раз от смыва при 1° и в 1,34 раза от уклона 3° при переходе к уклону 7°, что свидетельствует о резком повышение уровня водной эрозии на образцах почвы с классической обработкой при 3°. При дальнейшем увеличении угла уклона степень смыва возрастает не так сильно, возможно, как из-за повышения «шероховатости» почвы, так и фактического уменьшения орошаемого покрытия [Sun et al., 2021].

Для образцов с целинными землями показатели мутности в зависимости от угла уклона уже не испытывали столь последовательных изменений. Наибольшие значения мутности в начальный момент времени имели только образцы, тестируемые при 1° и 7° (0,53 и 0,50 г/л соответственно), причем количество смытого вещества при уклоне в 1° было больше, чем при максимальном угле уклона в 7°. Вероятно, это также связано со временем начала стока, которое для угла уклона 1° начинается на 3 минуты позже, в результате чего почвенные фракции смываются более равномерно и достигают большей концентрации в растворе ко времени начала стока. Повышение «шероховатости» при увеличении угла уклона также может способствовать большему удержанию почвенных фракций на поверхности при уклоне 7°. В качестве подтверждения такой гипотезы нужно добавить, что если в продолжении стока мутность при наклоне 1° постепенно снижается, то при уклоне в 7° наблюдается постепенное повышение мутности между 8-й и 15-й минутами, которое можно объяснить «добеганием» смытых почвенных частиц. С другой стороны, при уклоне в 3° образцы с целинных участков имеют наибольшее количество смытого вещества ко времени стока 5–8 минут, причем вначале идет постепенное повышение мутности, максимум и затем такое же постепенное понижение мутности стока. Такие

результаты, скорее всего, получены из-за оптимального соотношения скорости начала стока и «шероховатости» поверхности почвенного образца, когда происходит постепенное накопление и продвижение почвенных частиц в растворе. Более того, согласно результатам опыта, такое соотношение является наиболее благоприятным для противодействия водной эрозии, т.к. степень смыва при переходе к участку с уклоном в 3° снижается и составляет 0,95 от степени смыва участка 1°. Образец с уклоном 7° имеет схожую степень смыва с образцом с уклоном 3°, что свидетельствует о высокой устойчивости целинных земель к водной эрозии даже при значительном угле уклона.

Образцы почв, отобранные с участков NT-обработки, имеют характер стока, отличный как от пашни, так и от целинных земель, а также различающийся между собой при разных углах уклона. Так, при уклоне 1° идет постепенное увеличение мутности стока с максимумом в 5 минут от начала стока (4,91 г/л), затем наблюдается резкое снижение количества смытого вещества (0,80 г/л на восьмой минуте), небольшой подъем (1,19 г/л в 15 минут) и ко времени окончания опыта – плавное снижение мутности. При уклоне 3° максимальная мутность наблюдается на третьей минуте смыва (2,70 г/л), затем плавное снижение и небольшое повышение в 15 минут и снова плавное снижение мутности ко времени окончания опыта. На уклоне 7° в начале стока зафиксировано максимальное количество смытого вещества (15,25 г/л). Затем мутность резко снижается к третьей минуте и в дальнейшем имеет характер постепенного уменьшения до 15 минут, когда зафиксирован небольшой подъем, и вновь снижение ко времени окончания опыта.

Вероятнее всего, такие результаты свидетельствуют о различной скорости накопления максимальной концентрации смытых частиц в стоке в зависимости от времени его начала и угла уклона образца, а последующее небольшое повышение мутности указывает на «добегание» накопленных частиц смыва. При этом степень смыва при угле уклона 3° снижается, как и в случае с образцами целины до 0,95 от степени смыва при уклоне 1°, но затем при уклоне 7° резко возрастает в 2,6 раза от степени смыва с уклоном 3°, что указывает на резкое снижение эрозионной устойчивости при повышении угла уклона выше 3°. Несмотря на столь сильное увеличение эрозии почв, образцы почвы с NT-обработкой даже при угле уклона 7° имеют более низкую степень смыва, чем образцы почв с классической обработкой при угле уклона 1° (в 1,7 раз ниже), а для соответствующих углов уклона разница составила: на 4,2 ниже для уклона 1°, в 8,2 раз ниже при 3° и в 4,2 раза ниже при уклоне 7° при NT-обработке почв, чем при классической.

Выводы

В результате проведенных исследований выявлено, что для всех образцов время стока сокращается при увеличении угла уклона. Установлено, что раньше всего поверхностный сток начинается на образцах почв с классической обработкой при углах 1° и 7° (3 и 0,3 минуты соответственно), и совпадает с пробами почв с NT-обработкой при 3° (2 мин).

Целинные земли показывают наибольшую устойчивость к эрозионному воздействию (начало стока на пятой, третьей и второй минуте при углах наклона 1°, 3° и 7° соответственно), почвы, обрабатываемые методом NT, – среднюю (на четвертой, второй минутах и менее чем через минуту (0,8 мин)).

Динамика смыва почв имеет схожий характер при всех углах уклона для почв с классической обработкой: максимальные уровни мутности в начальные моменты стока, несущественное повышение мутности на 5–8-й минуте и затем плавное уменьшение до конца эксперимента. Образцы с целинных участков имеют схожую динамику только при уклонах в 1° и 7°, причем при 1° после максимума мутность плавно снижается до конца опыта, а на уклоне в 7° наблюдается незначительное повышение между 8-й и 1-й минутами. При 3° для почвы с целинного участка в начале стока мутность постепенно повышается, достигает максимума между 5–8 минутами и затем постепенно снижается. Почвы участков с NT-обработкой имеют следующий характер стока: максимальная мутность на пятой, третьей минуте смыва и сразу после начала появления поверхностного стока в зависимости от угла уклона (1°, 3° и 7° соответственно), несущественный подъем мутности для всех углов уклона на 15-й минуте и постепенное снижение до конца опыта.

Наибольшую степень смыва имеют образцы почвы с классической обработкой, наименьшую – целинные. Степень подверженности водной эрозии почв с NT-обработкой по сравнению с двумя другими образцами в зависимости от угла уклона: при 1° в 3,6 раз выше, чем для целинных, но в 4,2 раза ниже почв с классической обработкой, при 3° – в 3,6 раз выше, чем для целинных, и в 8,2 раза ниже, чем для почв с классической обработкой, при 7° – в 9,3 раз выше целинных и в 4,2 раз ниже почв с классической обработкой.

Проведенные исследования показывают, что целинные земли имеют высокую степень устойчивости к водной эрозии даже при значительном угле уклона (до 7°), а почвы с классической обработкой наиболее подвержены водной эрозии, и степень эрозионных изменений существенно возрастает даже при небольшом увеличении угла уклона

(до 3°). Для почв с NT-обработкой степень устойчивости сильно зависит от угла уклона и существенно снижается при его увеличении, но при этом все же имеет более высокие значения, чем для почв с классической обработкой.

Библиографический список / References

Атлас Республики Башкортостан / Абдрахманов Р.Ф., Абзалов Р.М., Асфандияров А.З. и др. Уфа, 2005. [Abdrakhmanov R.F., Abzalov R.M., Asfandiyarov A.Z. et al. Atlas Respubliki Bashkortostan [Atlas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, 2005.]

Атмосферная циркуляция как фактор развития эрозионных процессов в башкирском Предуралье / Загитова Л.Р., Мустафин Р.Ф., Тестова В.А., Зубаиров Р.Р. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1 (54). С. 34–41. [Zagitova L., Mustafin R., Testova V., Zubairov R.. Atmospheric circulation as factor of development of erosion processes in Bashkir Preduraliye. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2018. No. 1 (54). Pp. 34–41. (In Rus.)]

Влияние способов посева сельскохозяйственных культур на интенсивность эрозионных процессов и урожайность сельскохозяйственных культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики / Тарчоков Х.Ш., Чочаев М.М., Матаева О.Х. и др. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 5 (97). С. 5–19. [Tarchokov H., Chochaev M., Mataeva O. et al. Influence of ways of seeding agricultural crops on the intensity of erosion processes and yield of agricultural crops on slope lands of Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020. No. 5 (97). Pp. 5–19. (In Rus.)]

Галимова Р.Г. Современный климатический режим атмосферных осадков на территории Республики Башкортостан // Географический вестник. 2020. № 2 (53). С. 111–119. [Galimova R. Modern climatic regime of precipitation in the territory of the Republic of Bashkortostan. *Geographical Bulletin*. 2020. No. 2 (53). Pp. 111–119. (In Rus.)]

Галимова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Яманаев Г.А. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 3. С. 29–39. [Galimova R.G., Perevedentsev Yu.P, Yanaev G.A. Agro-climatic resources of the Republic of Bashkortostan. *Proceedings of Voronezh State University*. *Series*: *Geography*. *Geoecology*. 2019. No. 3. Pp. 29–39. (In Rus.)]

Гочияева З.У., Гедиев К.Т., Токова Ф.М. Влияние уклона местности на развитие корневой системы и эрозию почвы в зависимости от типа землепользования // Успехи современного естествознания. 2018. № 5. С. 33–39. [Gochiyaeva Z., Gediev K., Tokova F. Influence of the surface slope on the development of the root system and earth erosion in dependence on the type of land use. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. No. 5. Pp. 33–39. (In Rus.)]

Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М., 2008. [Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, 2008.]

Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М., 1996. [Kiryushin V.I. Ekologicheskie osnovy zemledeliya [Ecological foundations of agriculture]. Moscow, 1996.]

Оценка состояния агрочерноземов Зауральской степи в условиях использования системы обработки почвы No-Till / Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К. и др. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 32–36. [Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Khabirov I.K. et al. Assessing the status of agro chernozems in Transurals steppe under conditions of soil treatment system No-Till. *Russian Agricultural Sciences*. 2014. No. 6. Pp. 32–36. (In Rus.)]

Папцов А.Г., Шеламова Н.А. Глобальная продовольственная безопасность в условиях климатических изменений. М., 2018. [Paptsov A.G., Shelamova N.A. Globalnaya prodovolstvennaya bezopasnost v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii [Global food security in terms of climatic change]. Moscow, 2018.]

Соболь Н.В. Развитие эрозионных процессов в изменяющихся климатических условиях Южно-Уральского региона: Дис. … канд. биол. наук. Уфа, 2016. [Sobol N.V. Razvitie erozionnykh protsessov v izmenyayushchikhsya klimaticheskikh usloviyakh Yuzhno-Uralskogo regiona [Development of erosion processes in the changing climatic conditions of the South Ural region]. PhD dis. Ufa, 2016.]

Эродированные почвы Зауральской степной зоны и оценка их состояния в условиях изменения климата / Соболь Н.В. Габбасова И.М., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р. // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4 (1). С. 143–146. [Sobol N.V., Gabbasova I.M., Komissarov M.A., Suleimanov R.R. Eroded soils of the Trans-Ural steppe zone and assessment of their condition under climate change. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2015. No. 4 (1). Pp. 143–146. (In Rus.)]

Эффективность технологии прямого посева в борьбе с дефляцией и водной эрозией / Дридигер В.К., Белобров В.П., Антонов С.А. и др. // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 3 (13). С. 18–29. [Dridiger V., Belobrov V., Antonov S. et al. Efficiency of direct seeding technology in the fight against wind and water erosion. *Agricultural Journal*. 2020. No. 3 (13). Pp. 18–29. (In Rus.)]

Carretta L., Tarolli P., Cardinali A. et al. Evaluation of runoff and soil erosion under conventional tillage and no-till management: A case study in northeast Italy. *Catena*. 2021. No. 197. 104972.

de Almeid W.S., Seitz S., de Oliveira L.F.C., de Carvalho D.F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. No. 9. 69e75. DOI: 10.1016/j.iswcr.2020.10.004

Du X., Jian J., Du C., Stewart R.D. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. No. 306. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.08.001

Ferreira C., Neto E.C.S., Pereira M.G. et al. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. *Soil & Tillage Research*. 2020. No. 198. 104533.

Fu Y., Li G., Li B. et al. Splash detachment and transport of loess aggregate fragments by raindrop action. *Catena*. 2017. No. 150. Pp. 154–160.

Hosseinzadehtalaei P., Tabari H., Willems P. Climate change impact on short-duration extreme precipitation and intensity – duration – frequency curves over Europe. *Journal of Hydrology*. 2020. No. 590. 125249.

Li Z., Li X., Wang Y., Quiring S.M. Impact of climate change on precipitation patterns in Houston, Texas, USA. *Anthropocene*. 2019. No. 25. 100193.

Liu Y., Xin Y., Xie Y., Wang W. Effects of slope and rainfall intensity on runoff and soil erosion from furrow diking under simulated rainfall. *Catena*. 2019. No. 177. Pp. 92–100.

Marras P.A., Lima D.C.A., Soares P.M.M. et al. Future precipitation in a Mediterranean island and streamflow changes for a small basin using EURO-CORDEX regional climate simulations and the SWAT model. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 603. Part B. 127025.

Nicosia A., Di Stefano C., Pampalonea V. et al. Testing a theoretical resistance law for overland flow under simulated rainfall with different types of vegetation. *Catena*. 2020. No. 189. 104482.

Pan D., Gao X., Dyck M. et al. Dynamics of runoff and sediment trapping performance of vegetative filter strips: Run-on experiments and modeling. *Science of the Total Environment*. 2017. No. 593–594. Pp. 54–64.

Suleymanov R., Zaykin S., Suleymanov A. et al. Changes in basic soil physical properties of agrochernozyems under no-till conditions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 30. Pp. 963–972.

Sun L., Zhou J.L, Cai Q. et al. Comparing surface erosion processes in four soils from the Loess Plateau under extreme rainfall events. *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. No. 9. Pp. 520–531.

Wells T., Hancock G.R., Martinez C. et al. Differences in soil organic carbon and soil erosion for native pasture and minimum till agricultural management systems. *Science of the Total Environment*. 2019. No. 666. Pp. 618–630.

Zhao L., Fang Q., Hou R., Wu F. Effect of rainfall intensity and duration on soil erosion on slopes with different microrelief patterns. *Geoderma*. 2021. No. 396. 115085.

Zhou J., Fu B., Yan D. et al. Assessing the integrity of soil erosion in different patch covers in semi-arid environment. *Journal of Hydrology*. 2019. No. 571. Pp. 71–86.

Статья поступила в редакцию 22.01.2022, принята к публикации 17.02.2022
The article was received on 22.01.2022, accepted for publication 17.02.2022

Сведения об авторах / About the authors

Дорогая Екатерина Сергеевна – аспирант лаборатории почвоведения, Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Ekaterina S. Dorogaya – postgraduate student at the Laboratory of Soil Science, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0003-4553-1465
E-mail: ekaterina.s.dorogaya@gmail.com

Сулейманов Руслан Римович – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории почвоведения, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Ruslan R. Suleymanov – Dr. Hab. in Biology; Chief Researcher at the Laboratory of Soil Science, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0002-7754-0406
E-mail: soils@mail.ru

Сайфуллин Ирик Юлаевич – кандидат биологических наук; доцент кафедры геодезии, картографии и географических информационных систем, Башкирский государственный университет, г. Уфа

Irik Yu. Saifullin – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Geodesy, Cartography and Geographic Information Systems, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0003-2017-6516
E-mail: irekle@mail.ru

Миннегалиев Александр Олегович – старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Башкирский государственный университет, г. Уфа

Aleksandr O. Minnegaliev – Senior Lecturer at the Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0001-7145-3419
E-mail: minnegaliev.aleksandr@rambler.ru

Зайкин Сергей Викторович – аспирант лаборатории почвоведения, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Sergey V. Zaikin – postgraduate student at the Laboratory of Soil Science, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

ORCID: orcid.org/0000-0002-0873-5373
E-mail: zaykin.sergey.v@rambler.ru

Заявленный вклад авторов

Е.С. Дорогая – анализ данных, написание текста статьи

Р.Р. Сулейманов – проведение полевых работ, организация лабораторных исследований, участие в редактировании текста статьи

И.Ю. Сайфуллин – проведение лабораторных исследований

А.О. Миннегалиев – участие в анализе данных и написании текста статьи

С.В. Зайкин – проведение полевых работ

Contribution of the authors

E.S. Dorogaya – data analysis, writing the text of the article

R.R. Suleimanov – conducting field work, organizing laboratory research, editing the text of the article

I.Yu. Saifullin – laboratory research

A.O. Minnegaliev – participation in data analysis and writing the text of the article

S.V. Zaikin – field work

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-171-202

О.В. Созинов, А.И. Садковская

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
230012 г. Гродно, Республика Беларусь

Экологическая дифференциация разновозрастных естественных и искусственных сообществ сосняка мшистого (заказник «Гродненская Пуща», Беларусь)

Изучение динамических изменений пространственно-временных рядов лесных сообществ на непостпирогенном пространстве в конкретных типах местообитаний на протяжении длительного диапазона сукцессии в условиях особо охраняемых природных территорий является актуальным предметом исследований в геоботанике, лесоводстве, охране природы. Целью работы является выявление экологической дифференциации разновозрастных естественных и искусственных сообществ сосняка мшистого ландшафтного заказника «Гродненская Пуща» (Беларусь, Гродненский район). Изучение 17 лесных фитоценозов на временном ряду с 5 по 112 лет проводили в 2018 г. методом пробных площадей (400 м^2). В ходе исследований проведен полный учет видового состава фитоценозов, выявлено 86 видов сосудистых растений, 22 вида эпигейных мхов, 6 лишайников. Разновозрастные сообщества сосняка мшистого естественного и искусственного происхождения по спектру ценотических групп становятся сходными в средневозрастном состоянии, типичный лесной живой напочвенный покров формируется раньше в естественных сообществах (жердняк),

© Созинов О.В., Садковская А.И., 2022
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

чем в культурах сосны (средневозрастные). В сформированных естественных и искусственных фитоценозах изменяется соотношение доли доминирующих видов лесной ценотической группы: в спелых лесных культурах проективное покрытие *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. на 72,80% больше, чем в естественных сообществах, а *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. меньше на 49,09%. Выявлено три основных экологических фактора, определяющих формирование изученных фитоценозов: лесохозяйственные мероприятия, режим освещенности и трофность почвы. Экологическая интерпретация факторов изучаемых сообществ сосняка мшистого осталась неизменной при увеличении выборки в 3 раза.

Ключевые слова: сосняк мшистый, *Pinetum pleuroziosum*, экологические факторы, экологическая ординация, Гродненская Пуща, возрастные изменения леса, заказник

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Созинов О.В., Садковская А.И. Экологическая дифференциация разновозрастных естественных и искусственных сообществ сосняка мшистого (заказник «Гродненская Пуща», Беларусь) // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 171–202. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-171-202

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-171-202

O.V. Sozinov, A.I. Sadkovskaya

Yanka Kupala State University of Grodno,
Grodno, 230012, Republic of Belarus

Ecological differentiation of different-aged natural and artificial communities of pine forest with mosses (“Grodnenskaya Pushcha” reserve, Belarus)

The study of dynamic changes in the spatio-temporal series of forest communities in a non-post-pyrogenic space in specific types of habitats over a long range of succession in specially protected natural areas is a topical

subject of research in geobotany, forestry, and nature conservation. The aim of the work is to identify the ecological differentiation of natural and artificial communities of different-aged in the pine forest with mossy landscape in “Grodnenskaya Pushcha” reserve (Belarus, Grodno region). The study of 17 forest phytocenoses on a time series from 5 to 112 years was carried out in 2018 using the trial plot method (400 m^2). In the course of the research, a complete accounting of the species composition of phytocenoses was carried out, 86 species of vascular plants, 22 species of epigeic mosses and 6 lichens were identified. Different-aged communities of pine forest with mosses of natural and artificial origin in terms of the spectrum of coenotic groups become similar in the stands aged 40 to 60 years, while a typical forest living ground cover is formed earlier in natural communities (pole stand) than in pine cultures (stands aged 40 to 60 years). In the formed natural and artificial phytocenoses, the ratio of the proportion of the dominant species of the forest coenotic group changes: in mature forest cultures, the projective cover of *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. 72,80% more than in natural communities, and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. less by 49,09%. Three main environmental factors were identified that determine the formation of the studied phytocenoses: forestry activities, lighting regime, and soil trophicity. The ecological interpretation of the factors of the studied communities of the mossy pine forest remained unchanged with a 3-fold increase in the sample.

Key words: pine forest with mosses, *Pinetum pleuroziosum*, environmental factors, ecological ordination, Grodnenskaya Pushcha, forest age changes, reserve

FOR CITATION: Sozinov O.V., Sadkovskaya A.I. Ecological differentiation of different-aged natural and artificial communities of pine forest with mosses (“Grodnenskaya Pushcha” reserve, Belarus). *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 171–202. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-171-202

Введение

Восстановительно-возрастная динамика лесов – центральный вопрос в рамках концепции устойчивого управления лесными ресурсами и охраны лесных экосистем. Сложность лесных экосистем, длительность, поливариантность и нелинейность, связанная, как правило, с лесохозяйственной деятельностью и протекающих в них динамических процессов, является актуальными предметами исследований в геоботанике и лесоводстве [Модель восстановительно-возрастной динамики…, 2011].

Во многом характер восстановительной динамики лесной экосистемы зависит от стартовых условий, т.е. от причин, которые привели к уничтожению исходного древостоя: пирогенный фактор (и степень его проявления), ветровал, рубки, зарастания старопахотных земель, наводнение и т.д., и особенности лесохозяйственных мероприятий, которые проводятся при восстановлении лесного насаждения (искусственное лесовосстановление или естественное возобновление лесов)[1].

В условиях особо охраняемых природных территорий (ООПТ) (заповедники, природные резерваты, национальные парки, заказники и пр.), которые создаются для сохранения и воспроизведения естественных экосистем[2], принципиально важно уметь эффективно управлять динамическими процессами формирования полноценных автохтонных сообществ (с типичной вертикальной и горизонтальной структурой всех компонентов биоценоза и их взаимосвязями).

Пирогенный фактор, как правило, является доминирующим среди неконтролируемых человеком абиотических воздействий на лесные экосистемы. Постпирогенные лесные сообщества активно изучаются, с акцентом на динамику живого напочвенного покрова, что обусловлено гибелью или сильным повреждением древесного яруса. Доказательством тому служит обширная научная литература, касающаяся послепожарной восстановительной динамики светлохвойных и темнохвойных лесов, включая и изучение в пределах ООПТ: древостоя [Валяев, 1963; Горшков, Ставрова, 1998; 2002а, б; Маслов, 2002; Корякин, 2007; Динамика лесных сообществ…, 2009; Усеня, Катков, 2010], нижних ярусов [Орлов, 1947; Корчагин, 1954; Санников, 1970; Горшков, 1995; Самойлов, 1995; Перевозчикова, 1996; Баккал, Горшков, 2000, 2003; Маслов, 2002; Судник, 2006; Горшков, Бакал, 2007; Ряды восстановления сосняков…, 2018], но, как правило, без дифференцировки сообществ по происхождению (естественные и искусственные).

Значительное количество научных работ, которые посвящены динамическим изменениям лесных сообществ на непостпирогенном пространстве (основные факторы: рубки, ветровалы, буреломы, воздействие вулканов, орографический фактор, посадки древесных пород, техногенное загрязнение и пр.) связаны непосредственно с изучением динамики древостоя, с минимальным акцентом на изменчивость

[1] Лесной кодекс Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=Hk1500332 (дата обращения: 31.11.2021).

[2] Закон Республики Беларусь от 15 ноября 2018 г. № 150-З «Об особо охраняемых территориях». URL: https://pravo.by/upload/docs/op/H11800150_1544648400.pdf. (дата обращения: 09.12.2021).

живого напочвенного покрова [Юркевич, Ловчий, 1984; Писанов, Ульянов, 2000; Драндина, 2011; Видякин, 2012; Тимошок, Скороходов, Тимошок, 2014; Федорчук, Шорохов, Шорохова, 2014; Грязькин, Новикова, Новиков, 2016; Серенкова, Потапенко, 2016; Manov, 2017; Михайлова, Калугина, Шергина, 2017; Вайс, Калачев, 2018; Савиных, Пересторонина, Шабалкина, 2018; Ярмишко, Игнатьева, 2019; Структура и динамика древостоев…, 2019; Факторы пространственно-временной изменчивости…, 2019]. В работах, направленных на изучение живого напочвенного покрова лесов при демутации, часто касаются отдельных диапазонов возрастного ряда лесов либо проводят сравнение различных типов лесов одной формации (например, сосновых) разного возраста и происхождения, при этом часть исследований проводились в границах ООПТ [Moran, Packer, Brondizio et al., 1996; Динамика хвойных лесов…, 2000; Меланхолин, 2000, 2019; Marcos et al., 2007; Сравнительная оценка…, 2008; Ловчий, 2009, 2012; Кораблев, Нешатаева, 2011; Абдурахманова, Алиев, Нешатаева, 2016; Кораблев, Нешатаева, 2016; Manov, 2017; Савиных, Пересторонина, Шабалкина, 2018].

В целом, все работы по возрастной динамике лесов, вне зависимости от происхождения древостоя и особенностей демутации экосистем, направлены на выявление ведущих (лимитирующих) факторов, которые являются носителями большого количества информации для фитоценоза как системы [Миркин, 1978; Уиттекер, 1980; Иванова, Голубцова, 2014]. Например, выявлено, что к лимитирующим факторам сосновых лесов на основе экологических шкал по [Бузук, Созинов, Цвирко, 2017], относят трофность, содержание азота и гранулометрический состав почвы (аэрация) [Саутин, Райко, 1963; Иванов, Пономарева, Дерюгина, 1966; Ловчий, 1999; Бузук, Созинов, Цвирко, 2017]. Характеристики живого напочвенного покрова зависят от двух основных составляющих: типа лесорастительных условий [Смирнова, Чумаченко, 2012; Фитомасса живого напочвенного покрова…, 2015] и этапа развития насаждения [Смирнова, Чумаченко, 2012].

При изучении эколого-фитоценотических взаимосвязей, отвечающих за пространственно-структурную и динамическую организацию растительности, одним из широко применяемых инструментов изучения является ординация [Миркин, 1978, 2001; Ловчий, 1999; Marcos et al., 2007], которая позволяет расположить анализируемые объекты в экологическом пространстве, в том числе и с использованием экологических шкал [Экологическая оценка кормовых угодий…, 1956; Ландольт, 1977; Цыганов, 1983; Ellenberg, 1991; Дидух, Ешманов, Школьников, 1997; Коломыш, 2015]. Ординация достаточно широко используется в ряде

работ, посвященных лесным сообществам, в том числе и динамическим процессам [Сукачев, 1927; Юркевич, 1948; Гельтман, 1982; Ловчий, 1999; Кутенков, 2009; Кунафин, 2012; Пологова, 2013; Смирнов, 2017]. Метод главных компонент как один из инструментов экологической ординации является гибким, специально приспособленным методом к углубленному исследованию комплексных данных со многими экологическими и ценотическими переменными и широко применяется в геоботанике с 1970-х гг. для видов растений и растительных сообществ [Havlová, Chytrý, Tichý, 2004; Иванова, 2006; Functional strategies and distribution, 2019; Testolin, Attorre, Jiménez-Alfaro, 2020].

Традиционно в фитоценологии и лесоведении в ординации используется метод главных компонент (PCA) для выявления влияния внешних факторов на структуру сообществ. Рассматривается определенный градиент (увлажнения, трофности, загрязнения и т.п.) и выявляются факторы, определяющие структуру сообществ (оси максимального варьирования), связанные со сменой экологических режимов. При таком подходе внутренние (ценотические) факторы не анализируются. Между тем с позиции системного подхода именно эти внутренние факторы (ценотические отношения) являются важными в познании функционирования фитоценозов [Иванова, 2006].

Таким образом, несмотря на значительный объем информации, касающейся рассматриваемой проблемы, на современном этапе исследований мы не имеем упорядоченного представления о хронологии структурных преобразований основных компонентов непостпирогенных естественных и искусственных лесных сообществ в конкретных типах местообитаний на протяжении длительного диапазона сукцессии в условиях особого режима природопользования (лесопользования в ООПТ).

Цель работы – выявить основные экологические факторы, определяющие состав и структуру возрастных рядов сосняка мшистого (*Pinetum pleuroziosum*) в условиях заказника «Гродненская Пуща» (Гродненский район, Гродненская область, Беларусь).

Материалы и методы

Исследования проводили в июне-июле 2018 г. на территории ландшафтного заказника республиканского значения «Гродненская Пуща» (Августовское лесничество Гродненского лесхоза), который располагается в Гродненском районе в приграничье с Польшей и Литвой и является частью трансграничного лесного массива – Августовской пущи (UTM: 34 UFE3).

В ценотическую структуру заказника входит 23 растительных сообщества, охраняемых в Европе (согласно EEC Habitat Directive), представлены все типы сосновых и березовых лесов, болот и лугов Беларуси, что является исключительно редким для особо охраняемых территорий Беларуси. Сосновые леса в пределах заказника представлены 12 типами леса и относятся к I лесохозяйственной группе [От Марыхи до Котры…, 2014].

Изучение возрастных рядов естественных и естественных сосняков мшистых проводили методом пробных площадей (400 м^2) [Ипатов, Мирин, 2008], которые заложены в 17 непостпирогенных естественных и искусственных сообществах сосняка мшистого, относящихся к шести классам возраста (табл. 1).

В ходе исследований проведен полный учет видового состава фитоценозов (включая эпигейные мхи и лишайники), сделаны сборы растений, их определение [Определитель высших растений, 1999; Рыковский, Масловский, 2004; Яцына, Мержвинский, 2012] и гербаризация [Скворцов, 1997]. Около 70 гербарных сборов хранятся в GRSU, MSK, LE и MW.

Ординацию сообществ проводили по методу главных компонент (расчет по ковариациям) на основе встречаемости видов растений всех исследуемых ярусов в программе PAST 3.20 [Hammer, Harper, Rayan, 2001]. В PAST проводили расчет индекса Шеннона для изученных растительных сообществ. Оценку критерия согласия Пирсона (χ^2) и корреляционный анализ проводили в программе Stastistica 10. Унификацию обилия древостоя, подроста и подлеска с живым напочвенным покровом проводили по шкале О. Друде с использованием градаций обилия по Ю.Н. Нешатаеву [Нешатаев, 2001]. Для интерпретации факторов мы использование данные по биоэкологии видов растений – ценотические группы растений – группы видов, объединенные по их сходной приуроченности к основным типам растительности конкретного региона [Уланова, Жмылев, 2014], а также значения экологических режимов изученных биотопов на основе фитоиндикации [Ellenberg, 1991] и инструментально измеренных эдафических факторов (pH, гумус, P_2O_5, K_2O) корнеобитаемого горизонта [Практикум по агрохимии, 2001].

Результаты и обсуждение

На исследованных нами фитоценозах (в пределах пробных площадей) выявлено 86 видов сосудистых растений, 22 вида эпигейных мхов и 6 лишайников. Все высшие сосудистые растения относятся к 40 семействам, из них наиболее крупными являются: Asteraceae (10 видов),

ISSN 2500-2961

Таблица 1

Таксационные характеристики возрастных рядов сосняков мшистых
[Taxation characteristics of the age series of pine forest with mosses]

Класс возраста [Age class]	Лесные культуры [Forest crops]		Насаждения естественного происхождения [Plantations of natural origin]	
	Возраст древостоя, лет [Stand age, years]	Предшественники [Predecessors]	Возраст древостоя, лет [Stand age, years]	Предшественники [Predecessors]
I класс (0–20 лет) [Class I (0–20 years]	5	Пахотное поле [Arable field]	14	Пахотное поле [Arable field]
	17	Сосняк мшистый [Pine forest with mosses]		
II класс (21–40 лет) [Class II (21–40 years)]	26	Сосняк мшистый [Mossy pine forest]	27	Лесные насаждения [Forest plantations]
III класс (41–60 лет) [Class III (41–60 years)]	47	Лесные насаждения [Forest plantations]	57	Лесные насаждения [Forest plantations]
	52			
	57			
IV класс (61–80 лет) [Class IV (61–80 years)]	72	Лесные насаждения [Forest plantations]	67	Лесные насаждения [Forest plantations]
	77		77	
V класс (81–100 лет) [Class V (81–100 years)]	87	Лесные насаждения [Forest plantations]	87	Лесные насаждения [Forest plantations]
VI класс (101–120 лет) [Class VI (101–120 years]	–	–	112	Лесные насаждения [Forest plantations]

Poaceae и Rosaceae по 9 видов в каждом, Ericaceae (5 видов), Betulaceae (4 вида), в каждое из семейств Fabaceae, Lycopodiaceae, Onagraceae, Violaceae входит по 3 вида, по 2 вида в семействах Campanulaceae, Caryophyllaceae, Convallariaceae, Cyperaceae, Pinaceae и Scrophulariaceae. Согласно градации таксономического спектра [Хохряков, 2005], изученный флористический состав относится к *Rosaceae*-типу (среднеевропейский тип флоры). Мохообразные входят в состав 10 семейств, из которых преобладающими являются Brachytheciaceae (7 видов), Hylocomiaceae (4 вида) и Polytrichaceae (3 вида). Выявленные лишайники относятся к семействам Cladoniaceae (5 видов) и Parmeliaceae (1 вид) [Садковская, 2019].

Анализ ценотических групп растений показал, что в сообществах лесных культур большинство видов принадлежит к лесной ценотической группе: в молодняках 48,48%, в остальных сообществах в пределах от 80,00% до 90,48% (рис. 1).

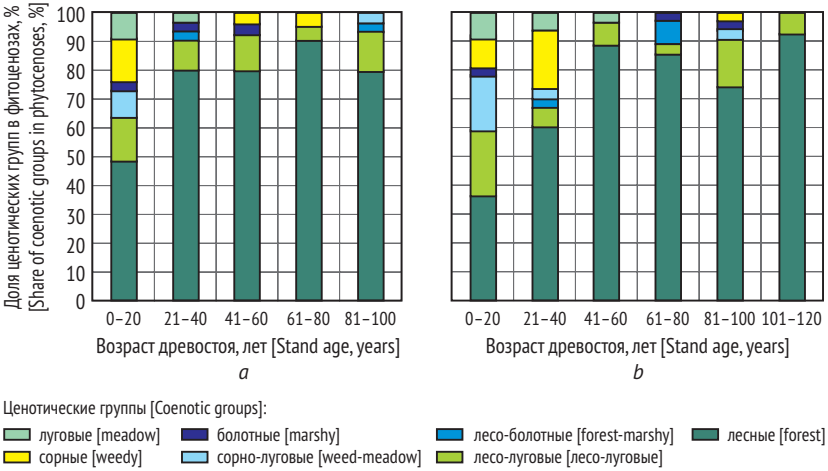

Рис. 1. Доля ценотических групп растений в сообществах сосняка мшистого искусственного (*a*) и естественного (*b*) происхождения

Fig. 1. The proportion of coenotic groups of plants in communities of pine forest with mosses artificial (*a*) and natural (*b*) origin

Лесо-луговая ценотическая группа во всех сообществах находится в пределах от 4,76 до 15,15%. Только в жердняке и спелом фитоценозе встречены лесо-болотные виды *Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T.J. Kop. и *Brachythecium oedipodium* (Mitt.) A. Jaeger соответственно. Сорно-луговая ценотическая группа встречается в молодняке и спелом

сообществе (9,09% и 3,33% соответственно). Представителем болотной группы является *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr. [Уланова, Жмылев, 2014] в молодняке, жердняке и средневозрастном сообществе, который в пределах Беларуси встречается часто по всей территории и характеризуется широкой экологической амплитудой [Сакович, Рыковский, 2014]. Группа сорных растений в молодняке составляет 15,15% от общего объема, в средневозрастном и приспевающем древостоях представлена в каждом случае одним видом. Луговые виды встречаются только на ранних стадиях формирования леса (3,33%–9,09%).

В насаждениях естественного происхождения сосняка мшистого также доминирует лесная ценотическая группа, наблюдается тенденция увеличения ее доли от 36,11% в молодняке до 92,31% в перестойном насаждении (см. рис. 1). Доля участия 3,70–7,69% лесо-луговых видов характерна для жердняка, средневозрастного, приспевающего, перестойного фитоценозов, а в молодняке и спелом сообществе 22,22 и 16,13% соответственно. Сорно-лесная группа представлена *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. в спелом сообществе, что свидетельствует о нарушении живого напочвенного покрова. Сорно-луговые виды встречаются только на ранних стадиях: молодняк (19,44%), жердняк (3,33%). Сорная группа довольно представительна в молодняке – 11,11%, жердняке – 20,00% и в минимальном присутствии отмечена в спелом сообществе – 3,23%. Луговые виды, с долей участия от 3,85% до 8,33%, встречаются в молодняке, жердняке и средневозрастном фитоценозах. В жердняке лесо-болотная группа представлена *Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T.J. Kop., в спелом фитоценозе – *P. ellipticum* и *Betula pubescens* Ehrh., что свидетельствует о более влажных условиях (по данным фитоиндикации): жердняк – 5,14 балла, спелое сообщество – 5,31. *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr., болотный вид, отмечен в молодняке, приспевающем и спелом сообществах, т.е. в более старших сообществах относительно лесных культур.

Сравнение ценотических групп показало, что доминирующей, вне зависимости от происхождения сообществ, является лесная группа (молодняки 36,11–48,48% до 90,48–92,31% в перестойных сообществах) с тенденцией к возрастанию ее доли. Искусственные и естественные молодняки достоверно различаются по количеству видов ценотических групп (p = 0,00) (табл. 2), между средневозрастными (p = 0,89), приспевающими (p = 0,99) и спелыми (p = 0,97) искусственными и естественными сообществами различия не выявлены. Но при попарном сравнении культур и естественных жердняков различия не установлены (p = 0,26), а по спектрам ценотических групп имеются достоверные различия ($p = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$) (табл. 2). При сравнении естественных

Таблица 2

Сравнение естественных и искусственных сообществ по количеству видов в ценотических группах [Comparison of natural and artificial communities by the number of species in coenotic groups]

	Возраст, лет [Stand age, years]	Статистические параметры [Statistical parameters][a]	Насаждения естественного происхождения [Plantations of natural renewal]											
			Возраст, лет [Stand age, years]											
			0–20		21–40		41–60		61–80		81–100		101–120
Лесные культуры [Forest crops]	0–20	χ^2	44,90*	23,21**	10,22		6,63		34,63		23,13		7,17
		p	0,000*	0,0007**	0,16		0,36		0,000005		0,0008		0,31
	21–40	χ^2	11,38		27,83	7,67	0,54		7,04		1,84		0,50
		p	0,08		0,0001	0,26	0,997		0,72		0,93		0,997
	41–60	χ^2	46,78		1,53		2,78	0,84	6,39		3,19		1,17
		p	0,0000		0,96		0,89	0,99	0,38		0,78		0,98
	61–80	χ^2	50,89		2,05		2,84		0,84	2,70	5,90		1,54
		p	0,0000		0,91		0,83		0,99	0,85	0,43		0,96
	81–100	χ^2	11,04		3,50		3,04		4,29		1,29	2,24	2,0
		p	0,087		0,74		0,80		0,64		0,97	0,90	0,92

Сверху над диагональю таблицы (выделена серым цветом): количество видов в лесных культурах / количество видов в насаждениях естественного происхождения.
Снизу над диагональю таблицы (выделена серым цветом): количество видов в насаждениях естественного происхождения / количество видов в лесных культурах.
В ячейках, выделенным серым цветом (диагональ таблицы), указаны статистические параметры отношения количества видов в разных ценотических группах.
* Здесь и далее во всех выделенных серым фоном ячейках слева: лесные культуры / насаждения естественного происхождения.
** Здесь и далее во всех выделенных серым фоном ячейках справа: насаждения естественного происхождения / лесные культуры

[Above the diagonal of the table (highlighted in gray): number of species in forest crops / number of species in stands of natural origin.
Below the diagonal of the table (highlighted in gray): number of species in stands of natural origin / number of species in forest crops.
The cells highlighted in gray (table diagonal) indicate the statistical parameters of the ratio of the number of species in different cenotic groups.
* Hereinafter, in all cells highlighted in gray on the left: forest crops / plantations of natural origin.
** Hereinafter, in all cells highlighted in gray on the right: plantings of natural origin / forest crops.]

и искусственных жердняков по спектру ценотических групп различия не выявлены (p = 0,15) в отличие от сравнения по количеству видов (p = 0,0001).

Согласно индексу видового разнообразия (индекс Шеннона), который учитывает не только количество видов, но их обилие, мы наблюдаем сходство по индексу только в средневозрастных сообществах (p = 0,88), а приспевающие (p = 0,00) и спелые (p = 0,00) сообщества разного происхождения имеют достоверные различия.

Для выявления особенностей изменчивости качественного состава лесной группы в естественных и искусственных сообществах мы детально изучили изменения обилия доминирующих лесных видов растений живого напочвенного покрова и определили, что в средневозрастных естественных и искусственных сообществах относительное различие проективного покрытия *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. и *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. на 37,58% и 28,82% соответственно больше в насаждениях естественного происхождения, чем лесных культурах. В спелых лесных культурах проективное покрытие *Hylocomium splendens* на 72,80% больше, чем в естественных сообществах, а *Pleurozium schreberi* – меньше на 49,09%. В естественных сообществах формирование живого напочвенного покрова лесного типа происходит быстрее, чем в культурах: относительное различие между суммарным проективным покрытием видов лесной ценотической группы естественных средневозрастных сообществ на 29,78% больше, чем в искусственных (рис. 2). Суммарное проективное покрытие видов в естественных приспевающих и спелых древостоях выше (8,55% и 13,28% соответственно), чем в аналогичных культурах сосны [Садковская, 2019].

Факторный анализ по матрице встречаемости всех видов растений изученных фитоценозов сосняка мшистого выявил 5 главных компонент, 3 из которых нами экологически интерпретированы и составляют 71,76% от общей дисперсии (табл. 3).

Анализ факторных нагрузок показал, что максимальное значение положительной нагрузки первой компоненты на виды растений характерно однолетникам: *Papaver rhoeas* L. и *Galeopsis bifida* Boenn., которые относятся к сорной ценотической группе (см. рис. 1) и встречается только в несомкнутом молодняке. Максимальные отрицательные значения нагрузок на виды характерны видам лесной ценотической группы (*Polytrichum commune* Hedw., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), а также *Impatiens parviflora* DC., который относится к сорной ценотической группе, но является сциофитом, что свидетельствует о необходимости сомкнутости крон древостоя для его произрастания (жердняк 27 лет).

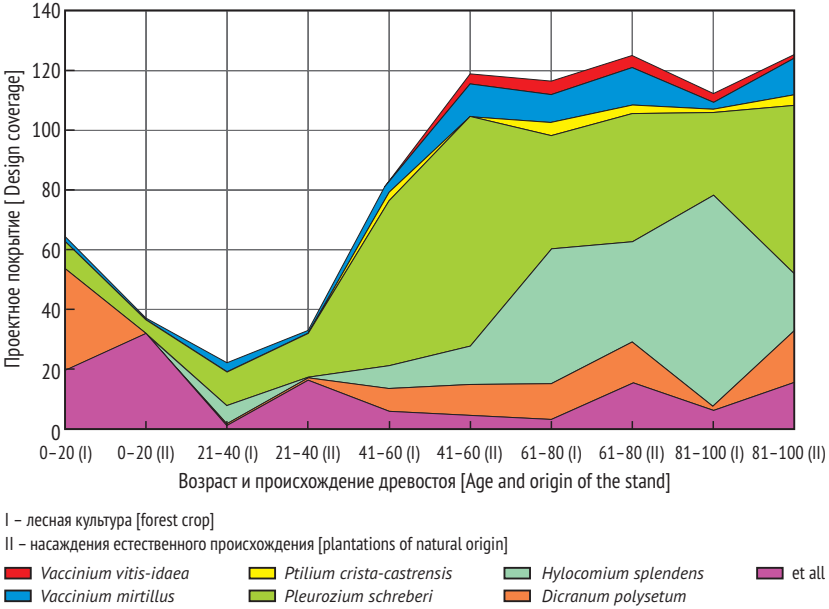

Рис. 2. Суммарное проективное покрытие доминирующих видов лесной ценотической группы живого напочвенного покрова разновозрастных сосняков мшистых

Fig. 2. The total projective cover of the dominant species of the forest coenotic group of the ground cover of the different ages pine forest with mosses

Таблица 3

Главные компоненты матрицы встречаемости видов растений разновозрастных сосняков мшистых [The main components of the matrix of occurrence of plant species of pine forest with mosses of different ages]

Главная компонента [Main component]	Собственное значение [Eigen value]	Дисперсия, % [Dispersion, %]
1	5445,33	**47,729**
2	1884,91	**15,829**
3	976,414	8,1998

Основное влияние на соотношение долей ценотических групп оказывают лесорастительные условия и, как следствие, видовой состав [Фитомасса живого напочвенного покрова..., 2015]. Состав и структура каждого растительного сообщества отражается в ценотических (фитоценотических) группах – группы видов, объединенных по их сходной приуроченности к основным типам растительности конкретного региона [Уланова, Жмылев, 2014].

Согласно нагрузкам по второй главной компоненте, максимальные отрицательные значения нагрузки на виды характерны в живом напочвенном покрове: сциофитам [Ell] – *Impatiens parviflora* (–0,32), *Oxalis acetosella* L. (–0,22) и факультативным гелиофитам [Ell] в подросте – *Pinus sylvestris* L. (–0,23) (рис. 3). Максимальное положительное значение нагрузок в живом напочвенном покрое характерно: гелиофиту [Ell] – *Brachythecium velutinum* (Hedw.) Bruch et al. (0,61), факультативным гелиофитам [Ell] – *Calamagrostis arundinacea* (0,27), *Galeopsis bifida* (0,21) и в подросте: факультативному гелиофиту [Ell] – *Picea abies* (L.) H. Karst.) (0,29).

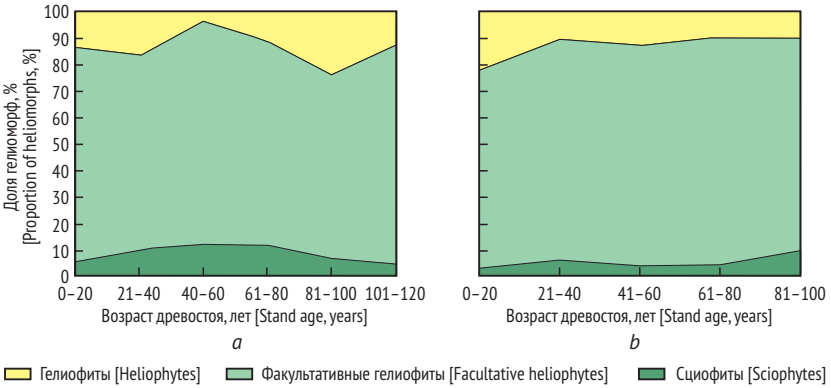

Рис. 3. Доля гелиоморф в насаждениях естественного происхождения (*a*) и лесных культурах (*b*) пространственно-временного ряда сосняка мшистого

Fig. 3. The share of heliomorphs in plantations of natural origin (*a*) and forest crops (*b*) of the different ages pine forest with mosses

Результат анализа факторных нагрузок *третьей компоненты* на виды показал, что максимальные отрицательные значения нагрузки на виды характерно в живом напочвенном покрове: олиготроф – *Carex ericetorum* Poll. (–0,23) и *Polygonatum odoratum* (–0,11). Максимальное

положительно значение нагрузок в живом напочвенном покрое характерно: эвтрофу – *Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp. (0,14) и эвтрофу в подросте – *Picea abies* (0,20), мезотрофам в диапазоне –0,19–0,19.

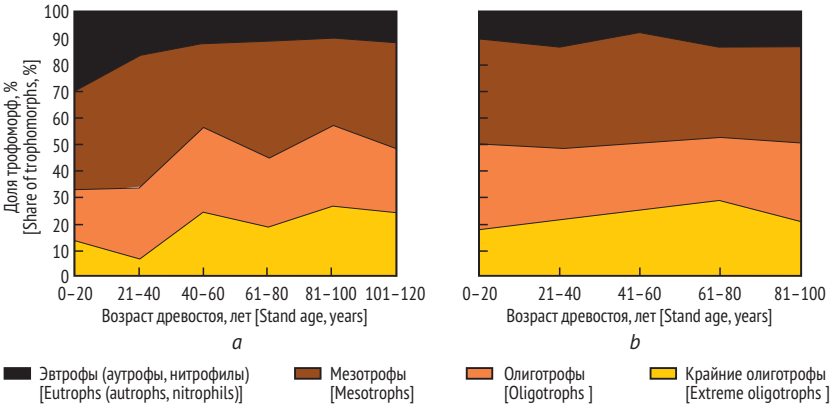

Рис. 4. Доля трофоморф в насаждениях естественного происхождения (*a*) и лесных культурах (*b*) пространственно-временного ряда сосняка мшистого

Fig. 4. The proportion of trofomorphs in plantations of natural origin (*a*) and forest crops (*b*) of the different ages pine forest with mosses

Результат анализа факторных нагрузок *первой компоненты* на биотопы показал, что положительное значение нагрузок характерно для искусственного средневозрастного сообщества и сообществ на ранних стадиях развития: естественных и искусственных молодняков, в которых живой напочвенный покров включает в себя 33–39% сорных и луговых видов (табл. 4, рис. 1). Данные сообщества сформированы на старопахотных землях [Чесновская, 1998]. Отрицательные нагрузки характерны для лесной культуры жердняка, естественных и искусственных средневозрастных, приспевающих и спелых и для естественных перестойных, в которых доминирует лесная ценотическая группа (74–92%), а представители сорной группы изредка встречаются при нарушении живого напочвенного покрова (*Rumex acetosella* L.). В естественном жердняке живой напочвенный покров не полностью сформирован, и вследствие этого появляются однолетники: *Galeopsis bifida* (факультативный гелиофит) и *Impatiens parviflora* (сциофит), которым необходимо затенение, создаваемое смыканием древесного полога. Сообщества, для которых

характерны отрицательные нагрузки на виды, сформированы в окружении соснового леса на месте вырубок[3]. В связи этим первая главная компонента определена нами как лесохозяйственная деятельность.

Таблица 4

Значения факторных нагрузок главных компонент на биотопы [Values of factorial loads of the main components on biotopes]

Возраст и происхождение биотопа [Age and origin of the biotope]	Факторные нагрузки главных компонент PCA [Factorial loads of the main components of PCA]		
	1	2	3
5 (I*)	176,33	113,83	42,061
17 (I)	13,37	15,16	–43,36
14 (II)	156,42	–75,03	1,76
26 (I)	–15,87	–23,54	13,11
27 (II)	103,87	–75,83	–30,78
47 (I)	–34,23	32,97	–49,08
52 (I)	–49,58	–1,85	25,57
57 (I)	18,01	–1,33	–21,03
57 (II)	–20,07	4,10	–28,68
67 (II)	–43,26	–22,94	37,72
72 (I)	–47,89	10,71	13,73
77 (I)	–43,95	4,84	14,81
77 (II)	–45,81	29,30	–27,54
87 (I)	–43,87	–23,21	40,11
87 (I)	–47,26	26,19	–28,91
112 (II)	–57,23	–30,06	38,57
112 (II)	–18,98	16,69	1,92

Примечание. I – лесная культура, II – насаждения естественного происхождения.

[Notes. I – forest crop, II – plantations of natural origin.]

[3] Верстовка Беларуси – центральная часть. URL: http://www.etomesto.ru/map-belarus_verstovka_centr/ (дата обращения: 31.10.2021); Карта РККА Беларуси и Литвы. URL: http://www.etomesto.ru/map-belarus_rkka/ (дата обращения: 04.11.2021); Довоенная польская топографическая карта центральной Беларуси. URL: http://www.etomesto.ru/map-belarus_zapad/ (дата обращения: 31.10.2021); Чесновская Н.И., Красовская Л.А., Махнач Л.Г. Почвенная карта Августовского лесничества, Гродненского лесхоза, Гродненской области. Масштаб 1 : 25000, Общая площадь 8389 га. 1998; Лесоустройство. Гродненская область, Гродненский район. ГЛХУ «Гродненский лесхоз». 2017.

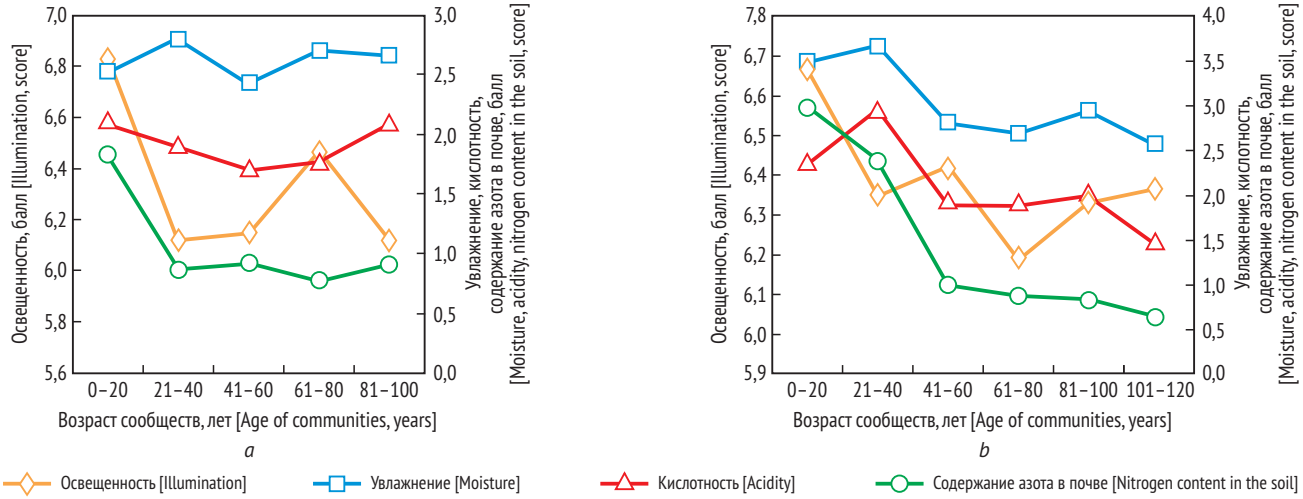

Рис. 5. Изменение экологических условий в искусственных (*a*) и естественных (*b*) разновозрастных сообществах сосняка мшистого

Fig. 5. Changes in ecological conditions in artificial (*a*) and natural (*b*)) communities of the different ages pine forest with mosses

Анализ факторных нагрузок *второй компоненты* на биотопы показал, что положительные значения нагрузок свойственны лесной молодой культуре сосняка мшистого (для которой характерны максимальные значения относительной освещенности, сквозистости и освещенности по шкалам Г. Элленберга), а также средневозрастным, приспевающим, спелой культуре и перестойному сообществу, в которых относительная освещенность находится в пределах от 30 до 53%, сквозистость 50–75% и освещенность 6,3–6,7 балла (рис. 5). Из приведенных аргументов вторая компонента интерпретирована нами как режим освещенности.

Отрицательные значения нагрузок свойственны молодому естественному сообществу, жерднякам, средневозрастным культурам, естественному приспевающему, спелой культуре и перестойному сообществам, характеризующимся относительной освещенностью – от 10% до 43%, сквозистостью 28–50% в естественном молодняке, жердняках, спелой культуре (рис. 6).

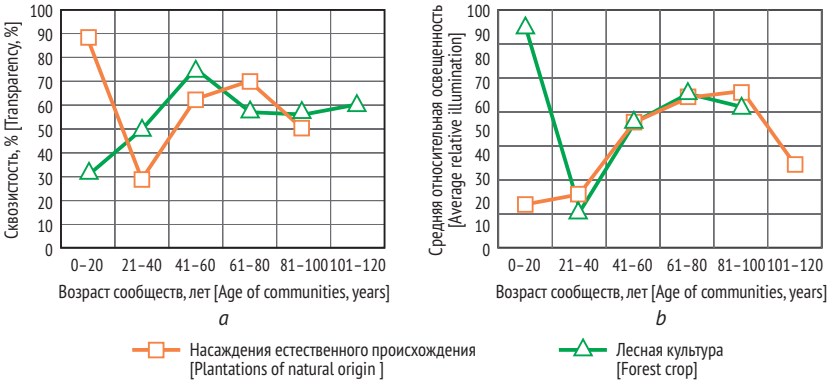

Рис. 6. Изменение условий сквозистости (*a*) и относительной освещенности (*b*) в разновозрастных сообществах сосняка мшистого (r^2= 0,72, p = 0,001)

Fig. 6. Changes in the conditions of transparency (*a*) and relative illumination (*b*) in communities of the different ages pine forest with mosses (r^2 = 0,72, p = 0,001)

Результат анализа факторных нагрузок *третьей компоненты* на биотопы показал, что отрицательная нагрузка свойственна средневозрастным сообществам, приспевающему и спелому естественным сообществам, в которых содержание азота в почве составляет 0,73–1,12 балла (по шкалам Г. Элленберга); молодой культуре (P_2O_5 = 28 мг/кг) и естественному жердняку (гумус 0,88%) с содержанием K_2O 32 и 23 мг/кг

почвы (табл. 5) соответственно. Положительные значения нагрузок характерны для молодняков с содержанием азота в почве 2,58 и 2,99 балла; для сообществ со значительным содержанием P_2O_5: средневозрастной культуре (118 мг/кг), естественному (134 мг/кг) и искусственным (74 и 94 мг/кг, гумусом 1,31 и 1,99%) приспевающим и перестойному (95 мг/кг); для естественного молодняка, приспевающих сообществ и спелой культуры, и перестойного естественного сообщества с гумусом 2,33%, 1,54–1,99% и 3,74% соответственно; для фитоценозов с содержанием K_2O, равным 55 и 98 мг/кг в лесных культурах молодняка и жердняка соответственно. Следовательно, по нашему мнению, третьей главной компонентой является трофность почвы.

Таблица 5

Инструментально полученные почвенные факторы разновозрастных естественных и искусственных сообществ сосняка мшистого [Instrumentally obtained soil factors of natural and artificial communities of the different ages pine forest with mosses]

Возраст древостоя, лет [Stand age, years]	Происхождение древостоя [Origin of the stand]	pH	Гумус, % [Humus, %]	P_2O_5, mg/kg	K_2O, mg/kg
0–20	Естественное насаждение [Plantation of natural origin]	3,92	2,58	38	32
	Лесная культура [Forest crop]	4,29	1,51	79	62
21–40	Естественное насаждение [Plantation of natural origin]	4,02	0,88	95	23
	Лесная культура [Forest crop]	4,43	0,42	67	55
41–60	Естественное насаждение [Plantations of natural origin]	4,03	1,57	66	19
	Лесная культура [Forest crop]	4,04	1,53	93	15
61–80	Естественное насаждение [Plantations of natural origin]	4,23	1,72	101	17
	Лесная культура [Forest crop]	3,96	1,65	84	22
81–100	Естественное насаждение [Plantations of natural origin]	4,19	1,29	86	13
	Лесная культура [Forest crop]	4,03	1,54	51	28
101–120	Естественное насаждение [Plantations of natural origin]	3,98	2,49	88	17

Молодая лесная культура в возрасте 5 лет характеризуется невысоким подростом сосны (средняя высота составляет 0,59 ± 0,03 м), который функционально входит в живой напочвенный покров, что сказывается на его особом положении в системе экологических координат (рис. 7). Эффект небольшой площади (до 1 га) и, соответственно, влияние экотонного эффекта свойственен изученным формирующимся молодым соснякам, и это экологически дистанцирует данные сообщества от других фитоценозов возрастного ряда (рис. 7).

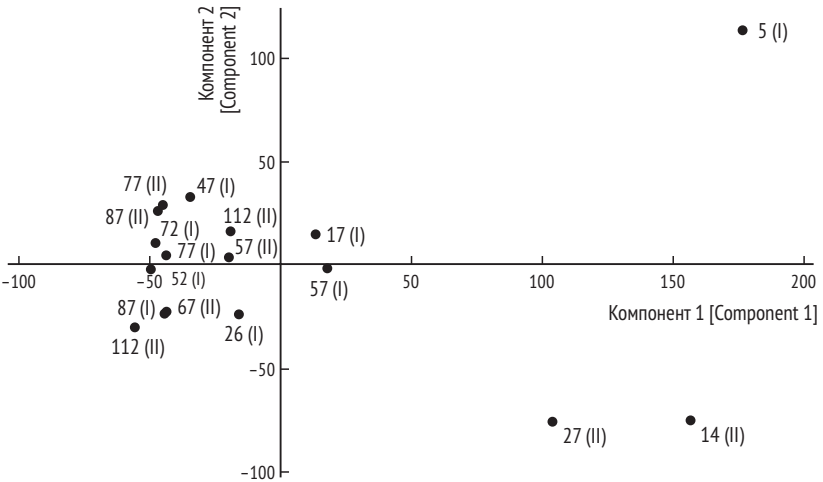

Рис. 7. Положение разновозрастных естественных и искусственных сосняков мшистых в системе экологических координат (по первой и второй главным компонентам PCA)

Обозначения точек: числа – возраст древостоев, лет; I – насаждения естественного происхождения; II – лесные культуры

Fig. 7. The position of natural and artificial of the different ages pine forest with mosses in the ecological coordinate system (according to the first and second main components of PCA)

Point designations: numbers – age of forest stands, years; I – plantations of natural origin; II – forest crops

Согласно многофакторному анализу видового состава изученных сообществ сосняка мшистого по матрице встречаемости с общей дисперсией 71,76% нами выделены три основных фактора, определяющие формирование изученных фитоценозов: лесохозяйственная деятельность, режим освещенности и трофность, которые подтвердились при

повторном изучении и увеличении выборки пространственно-временного ряда естественных и искусственных сообществ сосняка мшистого с 6 [Садковская, Созинов, 2018] до 17.

Выводы

Таким образом, изучение состава и структуры разновозрастных сообществ сосняка мшистого естественного и искусственного происхождения заказника «Гродненская Пуща» (Беларусь) показало следующее.

1. В исследованных сосняках мшистых (в пределах пробных площадей) выявлено 86 видов сосудистых растений, 22 вида эпигейных мхов и 6 видов лишайников. По спектру ценотических групп разновозрастные сообщества сосняка мшистого естественного и искусственного происхождения становятся сходными в средневозрастном состоянии, при этом лесной типичный живой напочвенный покров формируется раньше в естественных сообществах, чем в культурах сосны. Лесные культуры ведут к снижению скорости восстановления типичного видового состава сообществ сосняка мшистого, что является нежелательным фактором для ООПТ.

2. Ключевые факторы, влияющие на динамический ряд изученных сообществ сосняка мшистого (суммарная дисперсия 71,76%) –лесохозяйственная деятельность, режим освещенности и трофности почвы, при этом на ранних стадиях формирования лесных сообществ различного происхождения отмечена экологическая дифференциация, тогда как с приспевающего возраста сосняки искусственного и естественного происхождения становятся экологически и ценотически схожими.

3. Выявленные ключевые факторы для динамического ряда сосняка мшистого являются устойчивыми показателями, о чем свидетельствуют сохранение их позиций при изменении объема выборки в три раза.

Библиографический список / References

Абдурахманова З.И., Алиев Х.У., Нешатаева В.Ю. Сосновые леса из *Pinus kochiana с* участием *Taxus baccata* в Мушулинском ущелье (внутригорный Дагестан) и вопросы их охраны // Ботанический журнал. 2016. Т. 101. № 2. С. 227–244. [Abdurakhmanova Z.I., Aliev Kh.U., Neshataeva V.Yu. Pine forests from *Pinus kochiana* with the participation of *Taxus baccata* in the Mushulinsky gorge (intramontane Dagestan) and issues of their protection. *Botanicheskii Zhurnal*. 2016. Vol. 101. No. 2. Pp. 227–244. (In Rus.)]

Бакал И.Ю., Горшков В.В. Влияние лесных пожаров на восстановление травяно-кустарничкового яруса сосновых лесов Кольского полуострова // Растительные ресурсы. 2000. Т. 39. № 4. С. 1–13. [Bakal I.Yu., Gorshkov V.V.

The influence of forest fires on the restoration of the herb-dwarf layer of pine forests on the Kola Peninsula. *Rastitelnye Resursy*. 2000. Vol. 39. No. 4. Pp. 1–13. (In Rus.)]

Бакал И.Ю., Горшков В.В. Характеристика травяно-кустарничкового яруса сосновых лесов в условиях атмосферного загрязнения (Кольского полуострава) // Растительные ресурсы. 2003. Т. 39. № 4. С. 20–35. [Bakal I.Yu, Gorshkov V.V. Characteristics of the herb-shrublayer of pine forests in conditions of atmospheric pollution (Kola Peninsula). *Rastitelnye Resursy*. 2003. Vol. 39. No. 4. Pp. 20–35. (In Rus.)]

Бузук Г.Н., Созинов О.В., Цвирко Р.В. Лимитирующие факторы для фитоценозов: технология оценки (на примере сосновых лесов центральной Беларуси) // Социально-экологические технологии. 2017. № 17. С. 27–40. [Buzuk G.N., Sozinov O.V., Tsvirko R.V. Limiting factors for phytocenoses: Assessment technology (on the example of pine forests of central Belarus). *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2017. No. 17. Pp. 27–40. (In Rus.)]

Вайс А.А., Калачев В.А. Формирование пихтовых насаждений на вырубках после сплошной рубки в условиях средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36. № 5. С. 402–406. [Vais A.A., Kalachev V.A. Formation of fir plantations in felling areas after clear felling in the conditions of Central Siberia. *Conifers of the Boreal Area*. 2018. Vol. 36. No. 5. Pp. 402–406. (In Rus.)]

Валяев В.Н. Динамика таксационных показателей разновозрастных еловых насаждений // Лесной журнал. 1963. № 4. С. 22–26. [Valyaev V.N. Dynamics of taxation indicators of uneven-aged spruce plantations. *Russian Forestry Journal*. 1963. No. 4. С. 22–26. (In Rus.)]

Видякин А.И. Естественное возобновление сосны при проведении постепенных рубок в подзоне хвойно-широколиственных лесов Вятско-Камского междуречья // Аграрный вестник Урала. 2012. № 11-1 (103). С. 56–57. [Vidyakin A.I. Natural renewal of pine during gradual felling in the subzone of coniferous-deciduous forests of the Vyatka-Kama interfluve. *Agraria Bulletin of the Urals*. 2012. No. 11-1 (103). Pp. 56–57. (In Rus.)]

Гельтман В.С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Мн., 1982. [Geltman V.S. Geograficheskii i tipologicheskii analiz lesnoi rastitelnosti Belorussii [Geographical and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk, 1982.]

Горшков В.В. Послепожарное восстановление мохово-лишайникового яруса в сосновых лесах Кольского полуострава // Экология. 1995. № 3. С. 179–183. [Gorshkov V.V. After fire recovery of the moss-lichen layer in the pine forests of the Kola Peninsula. *Russian Journal of Ecology*. 1995. No. 3. Pp. 179–183. (In Rus.)]

Горшков В.В., Баккал И.Ю. Изменение напочвенного покрова дренирования сосновых лесов Кольского полуострова с разной давностью пожара в период с 1991 по 2006 гг. // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. Петрозаводск, 2007. С. 383–396. [Gorshkov V.V., Bakkal I.Yu. Changes in the drainage ground cover of pine forests on the Kola Peninsula with different fire times in the period from 1991 to 2006. *Aktualnye problemy geobotaniki*. *III Vserossiiskaya shkola-konferentsiya*. *Lektsii*. Petrozavodsk, 2007. Pp. 383–396. (In Rus.)]

Горшков В.В., Ставрова Н.И. Послепожарное восстановление древесного яруса в бореальных сосновых лесах // Роль девственной наземной биоты в современных условиях глобальных изменений окружающей среды. Биотическая регуляция окружающей среды. Материалы международного семинара (12–16 октября 1998 г., Петрозаводск, Карелия, Россия). Гатчина, 1998. С. 197–202. [Gorshkov V.V., Stavrova N.I. Post-fire tree layer restoration in boreal pine forests. *Rol devstvennoi nazemnoi bioty v sovremennykh usloviyakh globalnykh izmenenii okruzhayushchei sredy*. *Bioticheskaya regulyatsiya okruzhayushchei sredy*. Gatchina, 1998. Pp. 197–202. (In Rus.)]

Горшков В.В., Ставрова Н.И. Возрастная структура популяций *Pinus sylvestris* L. в северотаежных сосновых лесах с различной давностью пожара // Растительные ресурсы. 2002a. Т. 38. Вып. 1. С. 3–27. [Gorshkov V.V., Stavrova N.I. Age structure of *Pinus sylvestris* L. populations in northern taiga pine forests with different fire dates. *Rastitelnye Resursy*. 2002. Vol. 38. Issue 1. Pp. 3–27. (In Rus.)]

Горшков В.В., Ставрова Н.И. Динамика возобновления сосны обыкновенной при восстановлении бореальных сосновых лесов после пожаров // Ботанический журнал. 2002b. Т. 87. № 2. С. 62–77. [Gorshkov V.V., Stavrova N.I. Scotch pine regeneration dynamics during restoration of boreal pine forests after fire. *Botanicheskii Zhurnal*. 2002. Vol. 87. No. 2. Pp. 62–77. (In Rus.)]

Грязькин А.В., Новикова М.А., Новиков Я.А. Особенности естественного возобновления березы на вырубках // Лесной журнал. 2016. № 4 (352). С. 81–88. [Gryazkin A.V., Novikova M.A., Novikov Ya.A. Features of natural regeneration of birch in clearings. *Russian Forestry Journal*. 2016. No. 4 (352). Pp. 81–88. (In Rus.)]

Дидух Я.П., Ешманов Д.Г., Школьников Ю.А. Использование фитоиндикационных оценок при изучении структуры лесных экосистем // Экология. 1997. № 5. С. 353–360. [Didukh Ya.P., Eshmanov D.G., Shkolnikov Yu.A. The use of phytoindication assessments in the study of the structure of forest ecosystems. *Russian Journal of Ecology*. 1997. No. 5. Pp. 353–360. (In Rus.)]

Динамика древостоев и их продуктивности на верхнем пределе произрастания в Хибинах на фоне современных изменений климата / Моисеев П.А., Галимова А.А., Бубков М.О. и др. // Экология. 2019. № 5. С. 341–355. [Moiseev P.A., Galimova A.A., Bubkov M.O. et al. Dynamics of forest stands and their productivity at the upper limit of growth in the Khibiny against the background of modern climate changes. *Russian Journal of Ecology*. 2019. No. 5. Pp. 341–355. (In Rus.)]

Динамика коренных еловых лесов европейской России / Федорчук В.Н., Шорохов А.А., Шорохова Е.В. и др. // Лесоведение. 2014. № 2. С. 11–19. [Fedorchuk V.N., Shorokhov A.A., Shorokhova E.V. et al. Dynamics of indigenous spruce forests in European Russia. *Russian Journal of Forest Science*. 2014. No. 2. Pp. 11–19. (In Rus.)]

Динамика лесных сообществ северо-запада России / Ярмишко В.Т., Бакал И.Ю., Борисова О.В. и др. СПб., 2009. [Yarmishko V.T., Bakal I.Yu., Borisova O.V. et al. Dinamika lesnykh soobshchestv severo-zapada Rossii [Dynamics of forest communities in Northwest Russia]. St. Petersburg, 2009.]

Динамика хвойных лесов Подмосковья / Рысин Л.П., Абатурова А.В., Савельева Л.И. и др. М., 2000. [Rysin L.P., Abaturova A.V., Saveleva L.I. et al. Dinamika khvoinykh lesov Podmoskovya [Dynamics of coniferous forests near Moscow] Moskva, 2000.]

Драндина А.Н. Влияние осушения, рубок главного пользования и рубок ухода за лесом на ход роста древостоев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. № 197. С. 47–54. [Drandina A.N. Influence of drainage, final felling and maintenance felling on the growth of forest stands. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii*. 2011. No. 197. Pp. 47–54. (In Rus.)]

Иванов А.Ф., Пономарева А.Ф., Дерюгина Т.Ф. Отношение древесных растений к влажности и кислотности почв. Мн., 1966. [Ivanov A.F., Ponomareva A.F., Deryugina T.F. Otnoshenie drevesnykh rastenii k vlazhnosti i kislotnosti pochv [The ratio of woody plants to soil moisture and acidity]. Minsk, 1966.]

Иванова Н.А., Голубцова О.С. Факторы среды и функциональные процессы у травянистых растений при пирогенной сукцессии леса. Нижневартовск, 2014. [Ivanova N.A., Golubtsova O.S. Faktory sredy i funktsionalnye protsessy u travyanistykh rastenii pri pirogennoi suktsessii lesa [Environmental factors and functional processes in herbaceous plants during pyrogenic forest succession]. Nizhnevartovsk, 2014.]

Иванова Н.С. Метод главных компонент для изучения динамики лесной растительности // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. № 6. С. 21–27. [Ivanova N.S. Principal component method for studying the dynamics of forest vegetation. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa*. 2006. No. 6. Pp. 21–27. (In Rus.)]

Иванова Н.С., Золотова Е.С. Восстановительная динамика растительности и свойств почв горных лесов Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. URL: http://www.science-education.ru/118-14486 (дата обращения: 04.02.2021). [Ivanova N.S., Zolotova E.S. Restorative dynamics of vegetation and soil properties of mountain forests of the Urals. *Sovremennye problemy nauki i obrasovaniya*. 2014. No. 4. URL: http://www.science-education.ru/118-14486 (In Rus.)]

Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. СПб, 2008. [Ipatov V.S., Mirin D.M. Opisanie fitotsenoza: Metodicheskie rekomendatsii [Description of phytocenosis: Guidelines]. St. Petersburg, 2008.]

Коломыш Э.Г. Эволюционная экология бореальных лесов на тихоокеанском мегаэкотоне Северной Евразии // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2015. Т. 24. № 3. С. 5–139. [Kolomysh E.G. Evolutionary ecology of boreal forests in the Pacific megaecotone of Northern Eurasia. *Samarskaya Luka*: *problemy regionalnoi i globalnoi ekologii*. 2015. Vol. 24. No. 3. C. 5–139. (In Rus.)]

Кораблев А.П., Нешатаева В.Ю. Динамика лесной растительности на лавовых потоках плато Толбачинский дол (Ключевская группа вулканов, Камчатка) // Ботанический журнал. 2011. Т. 96. № 11. С. 1440–1457. [Korablev A.P., Neshataeva V.Yu. Dynamics of forest vegetation on lava flows of the Tolbachinsky dol plateau (Klyuchevskaya group of volcanoes, Kamchatka). *Botanicheskii Zhurnal*. 2011. Vol. 96. No. 11. Pp. 1440–1457. (In Rus.)]

Кораблев А.П., Нешатаева В.Ю. Первичные вулканогенные сукцессии растительности лесного пояса на плато Толбачинский дол (Камчатка) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2016. № 4. С. 366–376. [Korablev A.P., Neshataeva V.Yu. Primary volcanogenic successions of vegetation of the forest belt on the Tolbachinsky dol plateau (Kamchatka). *Izvestiia Akademii nauk. Seriia biologicheskaia*. 2016. No. 4. Pp. 366–376. (In Rus.)]

Корчагин А.А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожаров на Европейском Севере // Труды БИН АН СССР. Сер. III. 1954. Вып. 9. С. 75–149. [Korchagin A.A. The impact of fires on forest vegetation and its restoration after fires in the European North. *Trudy BIN AN SSSR. Series III*. 1954. Vol. 9. Pp. 75–149. (In Rus.)]

Корякин А.И. Динамика вторичных кедрово-кленовых древостоев на юге Приморского края // Лесоведение. 2007. № 2. С. 22–27. [Koryakin A.I. Dynamics of secondary stone pine-maple stands in the south of Primorsky Krai. *Russian Journal of Forest Science*. 2007. No. 2. Pp. 22–27. (In Rus.)]

Кунафин А.М. Анализ видового богатства и ординация сообществ вырубок светло-хвойных зеленомошных лесов Южного Урала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1 (5). С. 1296–1299. [Kunafin A.M. Analysis of species richness and ordination of felling communities of light coniferous green moss forests in the Southern Urals. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2012. Vol. 14. No. 1 (5). Pp. 1296–1299. (In Rus.)]

Кутенков С.А. Выявление факторов биологического разнообразия болотных лесов северотаежной подзоны Карелии // Лесной вестник. 2009. № 1. С. 151–154. [Kutenkov S.A. Identification of the factors of biological diversity of wetland forests of the northern taiga subzone of Karelia. *Forestry Bulletin*. 2009. No. 1. Pp. 151–154. (In Rus.)]

Ловчий Н.Ф. Экологический анализ структуры и продуктивности сосновых лесов Беларуси. Мн., 1999. [Lovchii N.F. Ekologicheskii analiz struktury i produktivnosti sosnovykh lesov Belarusi [Ecological analysis of the structure and productivity of pine forests in Belarus]. Minsk, 1999.]

Ловчий Н.Ф. Кадастр типов сосновых лесов Белорусского Полесья. Мн., 2012. [Lovchii N.F. Kadastr tipov sosnovykh lesov Belorusskogo Polesya [Cadastre of types of pine forests of Belarusian Polissya]. Minsk, 2012.]

Ловчий Н.Ф., Пучило А.В., Гуцевич В.Д. Кадастр типов сосновых лесов Белорусского Поозерья. Мн., 2009. [Lovchii N.F., Puchilo A.V., Gutsevich V.D. Kadastr tipov sosnovykh lesov Belorusskogo Poozerya [Cadastre of types of pine forests of the Belarusian Lakeland]. Minsk, 2009.]

Маслов А.А. Сукцессионная динамика древостоев и нижних ярусов в послепожарном 100-летнем сосняке лишайниково-зеленомошном // Лесоведение. 2002. № 2. С. 23–29. [Maslov A.A. Successional dynamics of forest stands and lower layers in a postfire 100-year-old lichen-green moss pine forest. *Russian Journal of Forest Science*. 2002. No. 2. Pp. 23–29. (In Rus.)]

Меланхолин П.Н. Динамика травяно-кустарничкового яруса хвойных лесов // Динамика хвойных лесов Подмосковья. М., 2000. С. 130–147. [Melankholin P.N.

Dynamics of the herb-shrub layer of coniferous forests. *Dinamika khvoinykh lesov Podmoskovya*. Moscow, 2000. Pp. 130–147. (In Rus.)]

Меланхолин П.Н. Возрастная динамика некоторых типов сосновых насаждений Московского региона // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 2. С. 29–34. [Melankholin P.N. Age dynamics of some types of pine plantations in the Moscow region. *Forestry Bulletin*. 2019. Vol. 23. No. 2. C. 29–34. (In Rus.)]

Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. М., 2001. [Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I. Sovremennaya nauka o rastitelnosti [Modern Vegetation Science]. Moscow, 2001.]

Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. М., 1978. [Mirkin B.M., Rozenberg G.S. Fitotsenologiya. Printsipy i metody [Phytocenology. Principles and methods]. Moscow, 1978.]

Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В. Динамика состояния сосновых лесов Предбайкалья в условиях воздействия антропогенных факторов // Сибирский лесной журнал. 2017. № 1. С. 44–55. [Mikhailova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V. Dynamics of the state of pine forests in Cisbaikalia under the influence of anthropogenic factors. *Siberian Journal of Forest Science*. 2017. No. 1. Pp. 44–55. (In Rus.)]

Модель восстановительно-возрастной динамики лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции / Н.С. Иванова, Г.П. Быстрай, С.А. Охотников и др. // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4754 (дата обращения: 31.01.2021). [Ivanova N.S., Bystrai G.P., Okhotnikov S.A. et al. Model of the regenerative-age dynamics of the forests of the Trans-Ural hilly-foothill province. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2011. No. 4. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4754 (In Rus.)]

Нешатаев Ю.Н. О некоторых задачах и методах классификации растительности // Растительность России. 2001. № 1. С. 57–61. [Neshataev Yu.N. On some problems and methods of vegetation classification. *Vegetation of Russia*. 2001. No. 1. Pp. 57–61. (In Rus.)]

Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В.И. Парфенова. Мн., 1999. [Opredelitel vysshikh rasteniy Belarusi [Keys to Higher Plants of Belarus]. V.I. Parfenov (ed.). Minsk, 1999.]

Орлов Ф.Б. Об изменениях живого напочвенного покрова на гарях // Сборник научно-исследовательских работ Архангельского Лесотехнического института. 1947. Вып. IX. С. 239–246. [Orlov F.B. About changes in the living ground cover on burnt-out areas. *Sbornik nauchno-issledovatelskikh rabot Arkhangelskogo Lesotekhnicheskogo instituta*. 1947. Vol. IX. Pp. 239–246. (In Rus.)]

От Марыхи до Котры. Охраняемые природные территории Белорусско-Литовского пограничья / Отв. за выпуск Л. Янкаускене, О. Созинов, Э. Дробялис. Гродно, 2014. [Ot Marykhi do Kotry. Okhranyaemye prirodnye territorii Belorussko-Litovskogo pogranichya [From Marykha to Kotra. Protected natural areas of the Belarusian-Lithuanian borderland]. L. Yankauskene, O. Sozinov, E. Drobyalis (eds.). Grodno, 2014.]

Перевозчикова В.Д. Динамика зарастания вырубок сосновых лесов среднего Приангарья: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Красноярск, 1996. [Perevozchikova V.D. Dinamika zarastaniya vyrubok sosnovykh lesov srednego Priangarya [Dynamics of overgrowing of clearings in pine forests in the middle Angara region]. PhD thesis. Krasnoyarsk, 1996.]

Писанов В.С., Ульянов И.Н. Динамика древостоя в ельнике кисличном // Лесной вестник. 2000. № 1. С. 44–46. [Pisanov V.S., Ulyanov I.N. Growing stand dynamics in the sorrel spruce forest. *Forestry Bulletin*. 2000. No. 1. Pp. 44–46. (In Rus.)]

Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М., 2001. [Praktikum po agrokhimii [Workshop on agrochemistry]. V.G. Mineev (ed.). Moscow, 2001.]

Разнообразие кедровых лесов в связи с условием местообитаний / Пологова Н.Н., Чернова Н.А., Климова Н.В. и др. // Лесоведение. 2013. № 4. С. 32–42. [Pologova N.N., Chernova N.A., Klimova N.V. et al. Diversity of cedar forests due to habitat condition. *Russian Journal of Forest Science*. 2013. No. 4. Pp. 32–42. (In Rus.)]

Рыковский Г.Ф., Масловский О.М. Флора Беларуси. Мохообразные / Под ред. В.И. Парфенова. Мн., 2004. [Rykovskii G.F., Maslovskii O.M. Flora Belarusi. Mokhoobraznye [Flora of Belarus. Bryophytes]. V.I. Parfenov (ed.). Minsk, 2004.]

Ряды восстановления сосняков восточной фенноскандии на песчаных автоморфных почвах / Крышень А.М., Геникова Н.В., Гнатюк Е.П. и др. // Ботанический журнал. 2018. № 103 (1). С. 5–35. [Kryshen A.M., Genikova N.V., Gnatyuk E.P. et al. Rows of regeneration of pine forests of eastern fennoscandia on sandy automorphic soils. *Botanicheskii Zhurnal*. 2018. No. 103 (1). С. 5–35. (In Rus.)]

Савиных Н.П., Пересторонина О.Н., Шабалкина С.В. Состояние и динамика биоразнообразия при искусственном восстановлении сосняков // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2018. № 3. С. 301–316. [Savinykh N.P., Perestoronina O.N., Shabalkina S.V. State and dynamics of biodiversity during artificial restoration of pine forests. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*. *Seriya*: *Biologiya i ekologiya*. 2018. No. 3. Pp. 301–316. (In Rus.)]

Садковская А.И. Таксономическая характеристика естественных и искусственных разновозрастных сосняков мшистых // Природа, человек и экология: Сб. тезисов докладов IV Республиканской науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 28 марта 2019 г. Брест, 2019. С. 130–133. [Sadkovskaya A.I. Taxonomic characteristics of natural and artificial mossy pine forests of different ages. *Priroda, chelovek i ekologiya*. Brest, 2019. Pp. 130–133. (In Rus.)]

Садковская А.И., Созинов О.В. Экологическая дифференциация разновозрастных сосняков мшистых (Гродненская Пуща) // Актуальные проблемы экологии: Сб. науч. ст. по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 3–5 окт. 2018 г. Гродно, 2018. С. 26–28. [Sadkovskaya A.I., Sozinov O.V. Ecological differentiation of mossy pine forests of different ages (Grodno Pushcha). *Aktualnye problemy ekologii*. Grodno, 2018. Pp. 26–28. (In Rus.)]

Садковская А.И, Созинов О.В. Изменчивость видового состава разновозрастных сосняков мшистых // Всероссийская конференция «Современная наука о растительности», посвященная 90-летию кафедры геоботаники биологического факультета МГУ. г. Москва – Звенигородская биостанция МГУ. 10–13 (14) октября 2019 г.: Тезисы докладов. М., 2019. С. 54–56. [Sadkovskaya A.I, Sozinov O.V. Variability of the species composition of uneven-aged mossy pine forests. *Sovremennaya nauka o rastitelnosti*. Moscow, 2019. Pp. 54–56. (In Rus.)]

Сакович А.А., Рыковский Г.Ф. Биоэкологическая база данных мохообразных Беларуси // Актуальные проблемы экологии: Материалы X междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 1–3 окт. 2014 г.). Гродно, 2014. Ч. 1. С. 39–40. [Sakovich A.A., Rykovsky G.F. Bioecological database of bryophytes of Belarus. *Aktualnye problemy ekologii*. Grodno, 2014. Pp. 39–40. (In Rus.)]

Самойлов Ю.И., Ипатов В.С. Пирогенные сукцессии напочвенного покрова сухих сосняков на песках // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 1995. Вып. 4. С. 58–67. [Samoilov Yu.I., Ipatov V.S. Pyrogenic successions of the ground cover of dry pine forests on the sands. *Vestnik of Saint Petersburg University*. *Series 3*. *Biology*. 1995. Vol. 4. Pp. 58–67. (In Rus.)]

Санников С.Н. Об экологических рядах возобновления и развития насаждений в пределах типов леса // Труды Института экологии растений и животных. Академия наук СССР. Уральский филиал. 1970. Вып. 67. С. 175–181. [Sannikov S.N. On ecological series of renewal and development of plantations within forest types. *Trudy Instituta ekologii rastenii i zhivotnykh*. *Akademiya nauk SSSR*. *Uralskii filial*. 1970. Vol. 67. Pp. 175–181. (In Rus.)]

Саутин В.И., П.Н. Райко. Определитель типов леса БССР. Мн., 1963. [Sautin V.I., Raiko P.N. Opredelitel tipov lesa BSSR [Key to forest types of the BSSR]. Minsk, 1963.].

Серенкова В.А., Потапенко А.М. Оценка предварительного и последующего естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях белорусского полесья // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. 2016. № 1 (183). С. 70–73. [Serenkova V.A., Potapenko A.M. Assessment and subsequent natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Belarusian woodland. *Trudy BGTU*. *Lesnoe khozyaistvo*. 2016. No. 1 (183). Pp. 70–73. (In Rus.)]

Скворцов А.К. Гербарий. М., 1997. [Skvortsov A.K. Gerbarii [Herbarium]. Moscow, 1997.]

Смирнов Н.С. Темнохвойные леса верховий р. Печора (Печоро-Илычский заповедник) // Материалы докладов школы-конференции «Природные и исторические факторы формирования современных экосистем Среднего и Северного Урала» 13–17 марта 2017 г. Якша, 2017. С. 139–144. [Smirnov N.S. Dark coniferous forests of the upper river Pechora (Pechora-Ilych nature reserve). *Prirodnye i istoricheskie faktory formirovaniya sovremennykh ekosistem Srednego i Severnogo Urala*. Yaksha, 2017. Pp. 139–144. (In Rus.)

Смирнова О.В., Чумаченко С.И. Концептуальная модель динамики напочвенного покрова // Лесной вестник. 2012. № 9. С. 94–102. [Smirnova O.V.,

Chumachenko S.I. Conceptual model of ground cover dynamics. *Forestry Bulletin*. 2012. No. 9. Pp. 94–102. (In Rus.)]

Сравнительная оценка живого напочвенного покрова в лесных культурах сосны и на залежах / Армолайтис К., Алейниковене Ю., Жекайте В., Чеснулявичене Р. // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: матэрыялы Міжнароднай навуковай канферэнцыі, прысвечанай 80-годдзю Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Мінск – Нарач, 22–26 верасня 2008 г.). Мн., 2008. С. 133–135. [Armolaitis K., Aleinikovene Yu., Zhekaite V., Chesnulyavichene R. Comparative assessment of the living ground cover in pine forest plantations and on fallow lands. *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitelnogo mira*. Minsk, 2008. Pp. 133–135. (In Rus.)]

Структура и динамика древостоев верхней границы леса в западной части плато Путорана / Григорьев А.А., Дэви Н.М., Кукарских В.В. и др. // Экология. 2019. № 4. С. 243–254. [Grigorev A.A., Devi N.M., Kukarskikh V.V. et al. Structure and dynamics of stands of the upper forest boundary in the western part of the Putorana plateau. *Russian Journal of Ecology*. 2019. No. 4. Pp. 243–254. (In Rus.)]

Судник А.В. Демутационная динамика сосновых лесов на почвах недостаточного и умеренного увлажнения: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Мн., 2006. [Sudnik A.V. Demutatsionnaya dinamika sosnovykh lesov na pochvakh nedostatochnogo i umerennogo uvlazhneniya [Demutational dynamics of pine forests on soils of insufficient and moderate moisture]. PhD thesis. Minsk, 2006.]

Сукачев В.Н. Краткое руководство к исследованию типов леса. М., 1927. [Sukachev V.N. Kratkoe rukovodstvo k issledovaniyu tipov lesa [A quick guide to researching forest types]. Moscow, 1927.]

Тимошок Е.Е., Скороходов С.Н., Тимошок Е.Н. Эколого-ценотическая характеристика кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на верхней границе его распространения в центральном Алтае // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 4 (20). С. 171–184. [Timoshok E.E., Skorokhodov S.N., Timoshok E.N. Ecological and cenotic characteristics of the Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) at the upper border of its distribution in central Altai. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2014. No. 4 (20). Pp. 171–184. (In Rus.)]

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы / Ред. и предисл. Т.А. Работнов. М., 1980. [Whittaker R.H. Soobshchestva i ekosistemy [Communities and Ecosystems]. T.A. Rabotnov (ed. and foreword). Moscow, 1980.]

Уланова Н.Г., Жмылев Н.Г. Эколого-ценотический анализ растительных сообществ. М., 2014. [Ulanova N.G., Zhmylev N.G. Ekologo-tsenoticheskii analiz rastitelnykh soobshchestv [Ecological and cenotic analysis of plant communities]. Moscow, 2014.]

Усеня В.В., Катков Е.Н. Продуктивность и восстановление лесных фитоценозов после пожаров. Мн., 2010. [Usenya V.V., Katkov E.N. Produktivnost i vosstanovlenie lesnykh fitotsenozov posle pozharov [Productivity and restoration of forest phytocenoses after fires]. Minsk, 2010.]

Факторы пространственно-временной изменчивости лиственницы сибирской в горных районах Алтая, Тувы и Монголии / Андреева М.В., Курочкин Ю.Н., Сыранятина М.В. и др. // Экология. 2019. № 4. С. 365–372. [Andreeva M.V., Kurochkin Yu.N., Syranyatina M.V. et al. Factors of spatio-temporal variability of Siberian larch in the mountainous regions of Altai, Tuva and Mongolia. *Russian Journal of Ecology*. 2019. No. 4. Pp. 365–372. (In Rus.)]

Фитомасса живого напочвенного покрова и его характеристика на основе эколого-ценотических шкал в сосновых насаждениях Уральского учебно-опытного лесхоза / И.Л. Трофимова, У.П. Кощеева, З.Я. Нагимов и др. // Аграрный вестник Урала. 2015. № 5 (135). С. 55–60. [Trofimova I.L., Koshcheeva U.P., Nagimov Z.Ya. Phytomass of the living ground cover and its characteristics based on ecological-cenotic scales in pine plantations of the Ural educational and experimental forestry enterprise. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015. No. 5 (135). Pp. 55–60. (In Rus.)]

Хохряков А.П. Таксономические аспекты и их роль в сравнительной флористике // Ботанический журнал. 2005. Т. 85. № 5. С. 1–11. [Khokhryakov A.P. Taxonomic aspects and their role in comparative floristry. *Botanicheskii Zhurnal*. 2005. Vol. 85. No. 5. C. 1–11. (In Rus.)]

Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. [Tsyganov D.N. Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoino-shirokolistvennykh lesov [Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests]. Moscow, 1983.]

Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л.Г. Раменский, И.А. Цаценкин, О.Н. Чижиков и др. Москва, 1956. [Ramenskii L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N. et al. Ekologicheskaya otsenka kormovykh ugodii po rastitelnomu pokrovu. Moscow, 1956.]

Юркевич И.Д. Типы лесов Белорусской ССР: Краткий очерк. Мн., 1948. [Yurkevich I.D. Tipy lesov Belorusskoi SSR: Kratkii ocherk [Types of forests in the Byelorussian SSR: A brief outline]. Minsk, 1948.]

Юркевич И.Д., Ловчий Н.Ф. Сосновые леса Белоруссии: Типы, ассоциации, продуктивность. Мн., 1984. [Yurkevich I.D., Lovchii N.F. Sosnovye lesa Belorussii: Tipy, assotsiatsii, produktivnost [Pine forests of Belarus: Types, associations, productivity]. Minsk, 1984.]

Ярмишко Т.В., Игнатьева О.В. Многолетний импактный мониторинг состояния сосновых лесов в центральной части Кольского полуострова // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2019. № 6. С. 658–668. [Yarmishko T.V., Ignatyeva O.V. Long-term impact monitoring of the state of pine forests in the central part of the Kola Peninsula. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Ceriya biologicheskaya*. 2019. No. 6. Pp. 658–668. (In Rus.)]

Яцына А.П., Мержвинский Л.М. Практикум по лишайникам. Витебск, 2012. [Yatsyna A.P., Merzhvinskii L.M. Praktikum po lishainikam [Workshop on lichens]. Vitebsk, 2012.]

Ellenberg H. Zeigerwerte der Geffasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen, 1991.

Ferrero M., Zeballos S., Whitworth-Hulse J. et al. Functional strategies and distribution of climbing plant communities in different vegetation patches

in a subtropical dry forest, central Argentina. *Journal of Plant Ecology*. 2019. Vol. 12. No. 1. Pp. 23–33.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Rayan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2021. No. 4 (1).

Havlová M., Chytrý M., Tichý L. Diversity of hay meadows in the Czech Republic: Major types and environmental gradients. *Phytocoenologia*. 2004. No. 34 (4). Pp. 551–567.

Landolt E. Okologische Zeigerwerts zur Sweizer Flora. Veroff. Geobot. Inst. ETH. Zurich, 1977. H. 64. Pp. 1–208.

Manov A.V. Dynamics of the horizontal structure of the tree stand in a pristine herb-bilberry forest of the subzone of the middle tiaga in the Komi Republic. *Biology Bulletin*. 2017. Vol. 44. No. 5. Pp. 552–559.

Marcos J.A., Marcos E., Taboada A. et al. Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantations and natural pine forest. *Science Direct Forest Ecology and Management*. 2007. No. 247. Pp. 35–42.

Moran E.F., Packer A., Brondizio E. et al. Restoration of vegetation cover in the eastern amazon. *Ecological Economics*. 1996. Vol. 18. No. 1. Pp. 41–54.

Testolin R., Attorre F., Jiménez-Alfaro B. Global distribution and bioclimatic characterization of alpine biomes. *Ecography*. 2020. No. 43. Pp. 1–10.

Joswig J., Wirth C., Schuman M. et al. Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. *Nature Ecology & Evolut*. 2022. No. 6. Pp. 36–50.

Статья поступила в редакцию 20.01.2022, принята к публикации 12.03.2022
The article was received on 20.01.2022, accepted for publication 12.03.2022

Сведения об авторах / About the authors

Созинов Олег Викторович – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой ботаники факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

Oleg V. Sozinov – Dr. Biol. Hab.; Head at the Department of Botany of the Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno,Republic of Belarus

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2502-0230
E-mail: ledum@list.ru; o.sozinov@grsu.by

Садковская Анна Ивановна – научный сотрудник кафедры ботаники факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

Anna I. Sadkovskaya – Researcher at the Department of Botany of the Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

E-mail: a_sadkovskaya@list.ru

Заявленный вклад авторов

О.В. Созинов – общее руководство направлением исследования, геоботанические описания, определение гербарного материала, статистическая обработка полученных данных, подготовка текста статьи

А.И. Садковская – геоботанические описания, сбор и определение гербарного материала, оформление этикеток, составление списка растений, статистическая обработка полученных данных, подготовка текста статьи

Contribution of the authors

O.V. Sozinov – general direction of the research direction, geobotanical descriptions, identification of herbarium material, statistical processing of the received data, preparation of the text of the article

A.I. Sadkovskaya – geobotanical descriptions, collection and identification of herbarium material, designof labels, compilation of a list of plants, statistical processing of the received data, preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Аналитическая статья

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219

Ю.К. Виноградова, О.В. Шелепова

Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН,
127276 г. Москва, Российская Федерация

Смена парадигмы оценки результатов культивирования и расселения видов рода *Solidago* (декоративные растения – злостные инвазионные сорняки – лекарственные растения)

Со времени первого появления в Старом Свете североамериканских видов рода Золотарник *Solidago* L. (*S. canadensis* L., *S. gigantea* Ait и *S. graminifolia* (L.) Salisb.) взгляды на результаты преднамеренной интродукции этих видов неоднократно менялись. Первоначально их культивировали как декоративные растения и высоко ценили за легкость выращивания и обильное цветение в осеннее время. В Англию они был завезены в 1645 г., а спустя столетие появились и на континенте: *S. canadensis* – около 1735 г., *S. gigantea* и *S. graminifolia* – около 1758 г. Однако через 100 лет золотарники «сбежали» из культуры, начался процесс их натурализации, а в конце XX в. их вторичный ареал охватывал уже все регионы Евразии. Взгляды на результаты преднамеренной интродукции золотарников кардинально поменялись: *S. canadensis* и *S. gigantea* были признаны опасными инвазионными видами, наносящими экологический и экономический ущерб, как в европейских странах, так и в России. В настоящее

© Виноградова Ю.К., Шелепова О.В., 2022
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

время взгляды поменялись еще раз: при анализе состава вторичных метаболитов у видов рода *Solidago* выделены соединении, обладающие широким спектром фармакологической активности, что позволяет считать данные виды перспективным лекарственным растительным сырьем. Помимо этого, золотарники ценятся пчеловодами за их способность стабильно производить пыльцу и нектар поздней осенью, что позволяет подготовить пчелиные колонии к зимовке. Таким образом, парадигма оценки результатов преднамеренной интродукции видов рода Золотарник менялась, по меньшей мере, трижды: декоративные растения → злостные инвазионные сорные виды → ресурсные виды.

Ключевые слова: виды рода *Solidago* L., декоративные растения, злостные инвазионные сорные виды, ресурсные виды

Благодарности. Исследование выполнены в рамках Государственного задания Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН № 122042600141-3.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Виноградова Ю.К., Шелепова О.В. Смена парадигмы оценки результатов культивирования и расселения видов рода *Solidago* (декоративные растения – злостные инвазионные сорняки – лекарственные растения) // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 203–219. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219

Analytical article

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219

Yu.K. Vinogradova, O.V. Shelepova

Tsytsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Science,
Moscow, 127276, Russian Federation

A paradigm shift in the evaluation of the North American species of *Solidago* (ornamental plants – noxious invasive weeds – medicinal plants)

Since the first appearance of the North American species of Goldenrods = *Solidago* L.: *S. canadensis* L., *S. gigantea* Ait and *S. graminifolia* (L.) Salisb. in the Old World, judgement on the results of intentional introduction

of these three species has repeatedly changed. Primarily they were cultivated as ornamental plants and were highly valued for their ease of cultivation and abundant flowering in the fall. They were introduced to England as early as 1645, and a century later they appeared on the continent: *Solidago canadensis* – about 1735, *S. gigantea* and *S. graminifolia* – about 1758. However, 100 years later, goldenrods "escaped" from the culture, the process of naturalization began, and a century later, at the end of the XX century, their secondary distribution range already covered all regions of Eurasia. The judgement on the results of intentional introduction of goldenrod plants had changed completely: *S. canadensis* and *S. gigantea* were recognized as dangerous invasive species, causing ecological and economic damage both in Europe and in Russia. At present, the judgement has changed once again: when analyzing the composition of secondary metabolites in species of the genus *Solidago*, compounds with a wide range of pharmacological activity were isolated, which allows us to consider these species as promising medicinal plant materials. In addition, goldenrods are valued by bee-masters for their ability to stably produce pollen and nectar in late fall, which allows the bee colonies to be prepared for winter. Thus, the paradigm of assessing the results of intentional introduction of *Solidago* species has changed at least three times: ornamental plants → aggressive invasive weeds → resource species.

Key words: species of genus *Solidago*, ornamental plants, aggressive invasive weeds, resource species

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State task of the Tsytsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Science, No. 122042600141-3.

FOR CITATION: Vinogradova Yu.K., Shelepova O.V. A paradigm shift in the evaluation of the North American species of *Solidago* (ornamental plants – noxious invasive weeds – medicinal plants). *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 203–219. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219

Введение

Больше половины (51%) всех известных видов сосудистых растений в мире (более трехсот тысяч) преднамеренно интродуцированы за пределы их естественного ареала, и многие из них сформировали устойчивые популяции без помощи человека [van Kleunen et al., 2018]. Большинство этих видов имеют сравнительно небольшие вторичные ареалы

[Pimentel, Zuniga, Morrison, 2005] и не наносят существенного экологического и экономического ущерба. Однако некоторые чужеродные виды трансформировались в инвазионные: они оказывают воздействие на местные виды и могут наносить значительный ущерб местным растительным сообществам [Vilà et al., 2011; Pyšek et al., 2018].

Исторически обусловленное потребностями экономической ботаники и декоративного садоводства создание ботанических садов в XVII–XVIII вв. способствовало распространению полезных и декоративных растений по всему миру [Hulme, 2011]. Ботанические сады также сыграли важную роль в сборе, оценке и распространении новых сельскохозяйственных и пищевых культур. Неудивительно, что многие из ныне натурализовавшихся и инвазионных чужеродных видов растений впервые были посажены в ботанических садах. Садоводство может способствовать инвазии растений, ведя отбор на признаки, которые непреднамеренно способствуют инвазии: растения должны демонстрировать константные хорошие показатели в определенных климатических условиях, должны легко расти и успешно размножаться, не должны быть особенно восприимчивыми к насекомым-вредителям или патогенам [Drew, Anderson, Andow, 2010; Knapp et al., 2012].

Однако социально-экономические изменения вызывают необходимость исследований инвазионных растений как потенциальных источников новых биопродуктов с высокой добавочной стоимостью (различных фармакопейных препаратов, зеленых пестицидов).

Поэтому нам необходимо знать историю интродукции и инвазии различных чужеродных видов, а также возможные пути дальнейшего их использования, превращения в ценные источники биологически важных компонентов. Система взглядов на интродукцию чужеродных видов в последние два столетия подвергались изменению. Оценка интродукционных опытов в качестве модели постановки проблемы (парадигмы) варьировала от полной поддержки до отрицания и обратно. Одними из наиболее распространенных в Европе чужеродных видов являются представители рода *Solidago*, которые естественно произрастают в Северной Америке от 26° до 45° северной широты, достигая 65° северной широты на западе Канады и на Аляске.

Цель данной статьи – на основе изучения литературных источников охарактеризовать смену парадигмы при оценке видов рода *Solidago* и их «превращение» из декоративных растений в инвазионные виды, приносящие вред местным экосистемам, и от злостных сорняков – в ценные лекарственные и медоносные растения.

Материалы и методы

В качестве материалов использовались литературные источники: научные статьи по истории интродукции видов рода *Solidago*, по различным аспектам изучения процессов инвазии данных видов, а также по исследованию состава биологически активных соединений растений и возможному их использованию в фармакопее.

Результаты и обсуждение

Название рода *Solidago* произошло от двух греческих слов: *solid* – «твердый, прочный» и *ago* – «действую, делаю» (в переводе с латинского *Solidago* означает «делать здоровым, укреплять»); средневековые врачи применяли аборигенную в Европе *Solidago virgaurea* при лечении заболеваний мочевого пузыря, почек и для заживления ран [Сулейманова и др., 2017]. В русскоязычной литературе, особенно научно-популярной, за видами рода *Solidago* закрепилось название «золотарник» и «золотая розга».

Североамериканские золотарники как декоративные растения

Виды рода *Solidago* – одни из первых декоративных растений, завезенных из Северной Америки в Европу; в Англию они был завезены еще в 1645 г. [Kowarik, 2003]. На континенте появились приблизительно одновременно: *S. canadensis* L. – около 1735 г., *S. gigantea* Ait. и *S. graminifolia* (L.) Salisb. – около 1758 г. [Weber, 1998], – и стали активно применяться в декоративном цветоводстве. Эти виды пользовались популярностью из-за своей неприхотливости, легкого культивирования, позднего цветения, оригинальности и разнообразия форм соцветий (в процессе роста соцветия из плотных постепенно становятся удлиненными, раскидистыми и более ажурными). Данные о появлении золотарников в монастырских и общественных садах России, к сожалению, отсутствуют.

Вне культуры данные виды были впервые зарегистрированы в 1850-х гг., а экспоненциальный рост числа их спонтанных популяций начался в 1870–1900 гг. [Там же]. Согласно гербарным сборам, как интродуцированное растение *S. canadensis* отмечен в Московской области в 1863 г., в Тульской области – в 1880 г., в Костромской области – в 1882 г. [Виноградова и др., 2010]. По литературным данным, дичание *S. canadensis* впервые было отмечено В.Я. Цингером в книге «Сборник сведений о флоре средней России»: «Иногда разводится в садах и часто встречается почти во всей области занесенным в совершенно одичалом состоянии» [Цингер, 1885, с. 226]. Приблизительно

в это же время Д.И. Литвинов в книге «Список растений дикорастущих в Калужской губернии, с указанием полезных и вредных» отмечает, что золотарник канадский «разводится в садах и иногда дичает, так например, найден на берегу Оки у железнодорожного моста близ станции Алексин» [Литвинов, 1895, с. 39]. И.Ф. Шмальгаузен в книге «Флора Средней и Южной России, Крыма и Северного Кавказа» так описывает распространение этого вида: «Встречается иногда одичалым. Польша, Петербург» [Шмальхаузен, 1895, с. 76]. Позднее Д.П. Сырейщиков во «Флоре Московской области» (1910 г.) отмечает *Solidago canadensis* как «одичалое по старым парка, не часто» [Сырейщиков, 1906, с. 276]. Позднее В.Н. Ворошилов с соавторами в книге «Определитель растений Московской области» отмечает, что *S. canadensis* «разводится в садах как декоративное, иногда дичает» [Ворошилов, Скворцов, Тихомиров, 1966, с. 68]. Процесс дальнейшего распространения *S. canadensis* мало изучен, и восстановить сегодня реальную картину его расселения едва ли возможно [Майоров и др., 2020].

В Хабаровском крае с 1960-х гг. выращивался как декоративное растение, в настоящее время «сбежал» из культуры. Культивируется, но не дичает, на Камчатке и в Амурской области [Черная книга флоры Дальнего Востока, 2021].

S. gigantea впервые стал выращиваться в Ботаническом саду Лондона. Вскоре был отмечен в садах и питомниках континентальной Европы, но происхождение этих инициальных популяций остается неизвестным. Вид стал расселяться приблизительно через 100 лет: первое упоминание о саморасселении *S. gigantea* в Германии датируется 1832 г., в Австрии – 1857 г., в Великобритании одичавшим найден в 1916 г. На основании гербарных образцов и литературных источников можно утверждать, что скорость экспансии составляла около 910 км^2/год [Weber, Jakobs, 2005]. Для России точную дату появления вида указать проблематично из-за того, что вид плохо отличали от *S. canadensis*. В Европейской России один из первых гербарных сборов сделан в Воронеже в 1868 г. В Сибири, в Томской области, найден в 2007 г., указан также для Курганской области [Самые опасные инвазионные виды…, 2018]. Изредка культивируется в г. Благовещенске (Амурская область). Выращивается как декоративное растение в южных и центральных районах Хабаровского края и Камчатского края [Черная книга флоры Дальнего Востока, 2021].

В отличие от *S. canadensis* и *S. gigantea*, появившийся одновременно с ними *S. graminifolia* имеет в Европе дизъюнктивный вторичный ареал. Область распространения вида ограничена небольшими

изолированными областями, которые не имеют явных признаков расширения. В Великобритании отмечен на 29 участках (площадью 10 × 10 км), большинство из которых расположено в южной части страны. Спорадические популяции обнаружены также в Австрии, Чешской Республике, Финляндии, Франции, Германии, Голландии, Италии, Словакии, Польше, Румынии, Швейцарии и Украине [CABI, 2018]. Встречается в различных местообитаниях: на берегах рек, на влажных лугах, полях и обочинах дорог, в парках вокруг старых замков [Plant Invasions, 2008]. Зарегистрирован в Литве и Беларуси [Дубовик, Скуратович, Третьяков, 2013]. В России этот вид встречается только в ботанических садах; данные о его произрастании в Абхазии [Пещанская, Лиховид, 2017] относятся к старой коллекции Н.И. Вавилова, который привез из Америки в Сухумский питомник более 50 различных видов золотарников, из которых в настоящее время осталось только три (но не *Solidago graminifolia*!).

Известно, что этапу расселения интродуцированных видов растений и создания достаточного количества популяций-основателей, а также генетической адаптации к новой среде предшествует так называемая лаг-фаза (lag-phase) – временной интервал между датой начала культивирования и датой массового ухода из культуры [Baker, 1986]. Скорость колонизации видами новых территорий зависит как от экологических, так и от антропогенных факторов. Согласно данным Е. Вебер, в Европе лаг-фаза *S. canadensis* и *S. gigantea* составила около 100 лет [Weber, 1998]. В России этот период длился 150 лет [Самые опасные инвазионные виды…, 2018]. Для *S. graminifolia* лаг-фаза продолжается уже 250 лет, и пока нельзя сказать, что она закончилась. Активное расселение этого вида идет пока только в Польше.

В настоящее время в европейских садах культивируются, в основном, сорта золотарников гибридного происхождения: ‘Baby Gold’, ‘Baillard’, ‘Dzintra’, ‘Fruhgold’, ‘Golden Dwarf’, ‘Golden Shower’, ‘Goldjunge’, ‘Goldenmosa’ и др. Они менее склонны к натурализации, чем «чистые» виды.

Североамериканские золотарники как инвазионные виды

В конце XX в. началась бурная инвазия *S. canadensis* и *S. gigantea* в естественные фитоценозы Европы.

S. canadensis встречен в Европе в 39 странах, в 28 натурализовался [Lambdon et al., 2008] и отнесен к видам, способным трансформировать естественные экосистемы, снижая биологическое разнообразие (= *transformers*). В Европейской части России золотарник канадский

встречается в 39 областях, в 37 из которых натурализовался. Первые упоминания о дичании *Solidago canadensis* в Сибири относятся к 1990-м гг., когда этот вид был указан для Барнаула, Новосибирска и Томска. Внедрение в естественные ценозы наблюдается с начала XXI в. Инвазионный вид в Алтайском крае, Кемеровской области (статус 1), Томской области, Республике Алтай (статус 2), Омской, Новосибирской областях (статус 3). Потенциально инвазионный вид на части Иркутской области [Черная книга флоры Сибири, 2016]. На Дальнем Востоке отмечен как инвазионный вид со статусом 1 в Приморском крае, Хабаровском крае и Еврейской АО, статус 2 имеет в Сахалинской области. В массе встречается на опушках, в редколесьях, среди кустарниковых зарослей и на заброшенных дачах. По р. Партизанская растет под пологом разреженных пойменных чозениевых и ивово-тополевых лесов и на их опушках [Черная книга флоры Дальнего Востока, 2021].

S. gigantea распространен в 35 странах Европы от севера Испании до Восточной Европы и от Северной Италии до юга Скандинавии (от 42 до 63° с.ш.), в 25 странах натурализовался, ожидается дальнейшее расширение его границ в восточном направлении [Lambdon et al., 2008]. В России расселился на европейской территории (отмечен в 32 областях, натурализовался в 26). В последнее десятилетие активно внедряется в естественные сообщества. Массовые заросли *S. gigantea* отмечены в Калужской, Курской и Московской областях. Оба вида растут на нарушенных землях, заброшенных полях, вблизи дорог, на пустырях, свалках, в разреженных лесах. *S. gigantea* предпочитает более увлажненные местообитания и в массе разрастается по долинам рек [Виноградова, Майоров, Хорун, 2010]. Натурализуется на юге Сибири [Черная книга флоры Сибири, 2016]. В Сахалинской области и Хабаровском крае вид имеет инвазионный статус 3: дичает недалеко от мест выращивания, в полуестественных и естественных сообществах пока не обнаружен. В Приморском крае – агрессивный инвазионный вид со статусом 1. Впервые собран в 1945 г., лаг-фаза вида длилась около 35 лет, и его активное расселение началось в 1980-е гг. В настоящее время массово распространился на юге Приморья. Вблизи населенных пунктов встречается в пойменных и сырых лесах, особенно на их опушках, среди зарослей кустарников, на лугах. Часто образует заросли с проективным покрытием 100% под пологом и на опушке ольховых лесов [Черная книга флоры Дальнего Востока, 2021].

Согласно биогеографическому прогнозу для трех видов рода *Solidago* на территории Европы [Weber, 1998], потенциальный ареал *S. graminifolia* существенно не отличается от потенциальных

ареалов *Solidago gigantea* и *S. canadensis*. Два последних вида еще не достигли пределов своего распространения, а для *S. graminifolia* выявлено значительное различие между его нынешним реальным и потенциальным ареалами, поэтому природно-климатические условия не препятствуют его возможности превратиться в инвазионный вид на такой же обширной территории. Однако пока *S. graminifolia* рассматривается как инвазионный только в Польше [Plant Invasions, 2008]: первые его образцы были собраны в пределах нынешних границ Польши в 1885 г., а через 125 лет ареал вида увеличился примерно в 100 раз (с 3 км^2 до 300 км^2).

Активному расселению североамериканских видов *Solidago* способствуют биологические и экологические особенности видов. Виды обладают беспримерно широкой экологической пластичностью и могут расти как на переувлажненных богатых почвах, так и на бедных сухих почвах и даже на строительном мусоре. Они отличаются очень высокой семенной продуктивностью: в благоприятных условиях отдельный генеративный побег продуцирует до 19 тыс. семянок. Семена легко разносит ветер, но большинство семянок остаются на стебле в течение зимы. Всхожесть семян может составлять 100% [Виноградова, Майоров, Хорун, 2010].

Способны они и к вегетативному размножению. Благодаря клональному росту образуют густые заросли и быстро становятся доминантом вторичных сукцессий. Число побегов в зарослях золотарника канадского может достигать 309 экз./м^2. У золотарника гигантского в одной рамете за вегетационный сезон формируется от 5 до 55 корневищ. Большое число почек на корневищах позволяет растениям быстро повторно отрастать после повреждений. Число ростовых почек на корневищах у *S. gigantea* в 10 раз выше, чем у *S. canadensis*. Кроме того, корневища *S. gigantea* в среднем намного более длинные; таким образом, вид может покрыть большие площади и расширить размер участка, захваченный популяцией, за относительно более короткий промежуток времени. Плотность побегов в клоне составляет 30–170 шт/м^2. На недавно заброшенных полях индивидуальные клоны часто легко различимы и достигают диаметра 2–5 м. Крупные старые клоны могут состоять из 1 тыс. рамет. Длинные корневища *S. gigantea* легко фрагментируются и могут переноситься водными потоками, что способствует быстрой инвазии вида по берегам рек [Ellenberg, Leuschner, 1982]. Корневища *S. graminifolia* отличаются еще большим числом спящих почек (3–4 на 1 см корневища, т.е. почти в 10 раз больше, чем у *S. gigantea*).

Инвазионные виды золотарников наносят существенный экологический ущерб и сокращают биологическое разнообразие естественных экосистем. В связи с этим они включены в список инвазионных видов ЕОКЗР: странам, где произрастают *Solidago canadensis* и *S. gigantea*, рекомендовано принять меры по их устранению. Они внесены в Черные книги флоры Средней России [Виноградова, Майоров, Хорун, 2010], Сибири [Черная книга флоры Сибири, 2016] и Дальнего Востока [Vinogradova et al., 2020]. Включены в ТОП-100 наиболее агрессивных видов России [Самые опасные инвазионные виды…, 2018]. Разрабатываются специальные меры борьбы с инвазионными видами рода *Solidago*, которые включают как механические (скашивание дважды в год в мае и августе, перекапывание почвы), так и химические (применение гербицидов глифосфата, пиклорама, имазапира) способы. Однако гербициды эффективны только для наиболее чувствительных к ним молодых растений высотой не более 10–15 см [CABI, 2018].

Североамериканские золотарники как лекарственные растения

Взгляды на инвазионные виды в последнее время несколько изменились. Отмечено, что во вторичном ареале они имеют бóльшие, чем на родине, размеры и формируют мощные (обычно одновидовые) заросли. По площади занимаемой территории инвазионные виды, особенно в антропогенно нарушенных местообитаниях, практически не отличаются от аборигенных видов, и ресурсный их потенциал достаточно высок. К тому же инвазионные виды имеют большие шансы стать новыми ресурсными растениями, поскольку значительная их часть – «беженцы из культуры» и обладают хозяйственно-ценными признаками [Виноградова, Куклина, 2012]. Основная проблема использования инвазионных видов состоит в практически полном отсутствии сведений об их биологических особенностях во вторичном ареале, в частности о динамике накопления химических веществ и ее зависимости от местообитания и фазы развития растений. Даже если имеются литературные данные по биохимии того или иного вида в естественном ареале, их не всегда можно приложить к этому же таксону, произрастающему во вторичном ареале в связи со значительными микроэволюционными изменениями растений в новых почвенно-климатических условиях.

Следующая проблема заключается в том, что запасы инвазионных видов в различных регионах вторичного ареала пока не выявлены. Зато нет необходимости определять научно-обоснованные объемы ежегодных заготовок и разрабатывать рациональные системы эксплуатации зарослей, поскольку целесообразно изымать из фитоценозов

всю биомассу чужеродных видов, а не сохранять их природные запасы [European Pharmacopeia, 2008].

Опираясь на закон гомологических рядов Н.И. Вавилова, можно предположить, что в инвазионных видах содержатся действующие химические вещества, сходные с таковыми у близкородственных аборигенных широко используемых видов. И действительно, золотарники обладают широким спектром фармакологической активности. Они используются в народной медицине многих стран мира в виде настоев и отваров как антибактериальное и противовоспалительное средство. В китайской народной медицине семена *Solidago virgaurea* s.l. применяют для разжижения крови и устранения вздутия кишечника, в Европе виды рода *Solidago* входят в официальную фармакопею [Shelepova et al., 2019a].

Поэтому постепенно осуществляется переход к использованию золотарников как лекарственных растений. Помимо *S. virgaurea*, в мировой медицинской практике в качестве лекарственного растительного сырья используется трава (надземная часть растений) *S. canadensis*, *S. gigantea*, а также *S. chilensis* Meyen. [Shelepova et al., 2019b, 2020]. В СССР в 1986 г. в Украине стали выращивать *S. canadensis* с целью получения лекарственного растительного сырья для производства препарата «Марелин». После распада СССР посадки *S. canadensis* была апробированы в России в условиях Ставропольской возвышенности, нечерноземной зоне и в Московской области [Федотова, Челомбитько, 2012].

В настоящее время в традиционной медицине золотарники используют, в основном, как диуретическое, антисептическое, противовоспалительное средство при болезнях почек и мочевого пузыря (мочекаменная болезнь, холецистит, язвенный цистит, энурез), гипертрофии предстательной железы. Однако фармакопейные свойства золотарников намного шире. Растительные препараты из золотарников оказывают вяжущее, потогонное, отхаркивающее, гемостатическое действие; применяются при желчнокаменной болезни, сахарном диабете, бронхиальной астме, туберкулезе легких, острых респираторных инфекциях, остром ларингите, ангине, коклюше, подагре, артритах, энтерите, колите, экземе. Соцветия растений используют наружно в смеси со сливками, свиным жиром или сливочным маслом при туберкулезе кожи, дерматитах, ожогах, ревматизме.

На основе сырья золотарников получают аллопатические лекарственные монопрепараты (цистиум солидаго раствор и солидагорен моно) и комбинированные («Марелин», «Простанорм», «Фитодолор», «Полиартритный сбор») [Karnaukh, Olefir, 2014]. В еще большем объеме сырье из видов рода *Solidago* используется в гомеопатии.

Экстракты из золотарников входят в состав таких препаратов как псорезер, хомвиокорин-N, сабурген-H, солидогокомпозитус С. Кроме того, сырье из золотарников входит в состав большого количества различных биологически активных добавок. Согласно анализу патентной документации, за последние годы наблюдается рост интереса к сырью золотарника, при этом регистрируются патенты на создание не только лекарственных средств, но применение в пищевой промышленности и косметологии [Сулейманова, Нестерова, Матюшкин, 2017].

Североамериканские золотарники как медоносные растения

И *Solidago canadensis*, и *S. gigantea* ценятся пчеловодами за их способность стабильно производить пыльцу и нектар поздней осенью. Этот мед редко откачивают, потому что весь нектар и пыльца идут на поддержание пчелиных колоний и на их подготовку к зимовке.

Гермакрен D, который не обнаруживается в других монофлорных видах меда, в золотарниковом меде присутствует [Shelepova, Vinogradova, 2021].

Цветочный нектар богат гексозой (сахароза/фруктоза/глюкоза – 13,8/32,7/53,5% у *S. canadensis* и 18,3/35,1/46,6% – у *S. gigantea*).

Взяток из одной корзинки (сахара/пыльца) не обильный, однако, благодаря формированию плотных инвазионных популяций и обильному цветению, на уровне сообщества средний выход сахара довольно высок. Он составляет 482,3 кг/га для *S. canadensis* и 121,6 кг/га – для *S. gigantea*. Средний выход пыльцы составляет 30,7 кг/га (*S. canadensis*) и 6,5 кг/га (*S. gigantea*).

В ландшафте с ограниченными цветочными ресурсами нектар и пыльца, имеющиеся в цветках *Solidago*, имеют большое значение и могут обеспечить дополнительные (или даже исключительные) пищевые ресурсы для опылителей в летний/позднелетний период. Территории, заселенные видами *Solidago*, могут быть привлекательными для пчеловодов, поскольку более 80,0% посещений были совершены *Apis mellifera* [Jachula, Denisow, Strzałkowska-Abramek, 2020].

Заключение

Изменение парадигмы взглядов продемонстрировано на примере отношения к североамериканским видам рода *Solidago*. Первоначально в культивирование вовлекались почти все более или менее декоративные чужеродные виды, и в ходе намеренной интродукции их вторичный ареал увеличивался практически безгранично. Однако когда эти виды начали «сбегать» из культуры и внедряться в естественные экосистемы,

было признано, что чужеродные инвазионные виды наносят существенный экономический и экологический ущерб и снижают естественное биоразнообразие. С растениями стали бороться, а ботанические сады призвали относиться к интродукции более осторожно и тщательно контролировать расселение растений. И третью смену взглядов мы наблюдаем в настоящее время, когда инвазионные виды начинают рассматривать как ценное растительное сырье, и ежедневно публикуются десятки научных статей, посвященных изучению фитохимических признаков чужеродных видов.

Так, изучение состава вторичных метаболитов видов рода *Solidago* позволило выделить в их составе широкий спектр флавоноидов, тритерпеновых сапонинов, органических кислот, различных терпеновых соединений. Поэтому виды рода *Solidago* являются перспективным лекарственным растительным сырьем, обладающим широким спектром фармакологической активности.

Библиографический список / References

Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М., 2010. [Vinogradova Yu.K., Maiorov S.R., Khorun L.V. Chernaya kniga flory Srednei Rossii (Chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii) [The Black Book of flora of Central Russia (Alien plant species in ecosystems of Central Russia)]. Moscow, 2010.]

Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Ресурсный потенциал инвазионных видов растений. М., 2012. [Vinogradova Yu.K., Kuklina A.G. Resursnyj potencial invazionnyh vidov rastenij [Resource potential of invasive plant species]. Moscow, 2012.]

Ворошилов В.Н., Скворцов А.К., Тихомиров В.Н. Определитель растений Московской области. М., 1966. [Voroshilov V.N., Skvortsov A.K., Tikhomirov V.N. Opredelitel rastenij Moskovskoj oblasti [Keys to plants of the Moscow Region]. Moscow, 1966.]

Дубовик Д.В., Скуратович А.Н., Третьяков Д.И. Новые для Беларуси и Европы виды адвентивных растений // Ботаника (исследования). 2013. № 42. С. 3–28. [Dubovik D.V., Skuratovich A.N., Tretyakov D.I. New adventitious plant species for Belarus and Europe. *Botanika* (*issledovaniya*). 2013. No. 42. Pp. 3–28. (In Rus.)]

Литвинов Д.И. Список видов, дикорастущих в Калужской губернии, с указанием полезных и вредных. Калуга, 1895. [Litvinov D.I. Spisok vidov, dikorastushchih v Kaluzhskoj gubernii, s ukazaniem poleznyh i vrednyh [List of species growing wild in the Kaluga Governorate, indicating useful and harmful]. Kaluga, 1895.]

Пещанская Е.В., Лиховид Н.Г. История изучения и распространения видов рода *Solidago* L. флоры Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 4. С. 177–184. [Peshchankaya E.V., Likhovid N.G. The history of the study and

distribution of species of the genus *Solidago* L. of the flora of the Caucasus. *Nauka. Innovacii. Tekhnologii*. 2017. No 4. Pp. 177–184. (In Rus.)]

Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / Петросян В.Г., Дгебуадзе Ю.Ю., Хляп Л.А. и др. М., 2018. [Petrosyan V.G., Dgebuadze Yu.Yu., Khlyap L.A. et al. Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (TOP-100) [The most dangerous invasive species of Russia (TOP-100)] Moscow, 2018.]

Сулейманова Ф.Ш., Нестерова О.В., Матюшин А.А. Исторический опыт и перспективы использования травы золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) в медицине // Здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19. С. 142–144. [Suleimanova F.Sh., Nesterova O.V., Matushin A.A. Historical experience and prospects for the use of Canadian goldenrod grass (*Solidago canadensis* L.) in medicine. *Zdorove i obrazovanie v XXI veke*. 2017. Vol. 19. Pp. 142–144. (In Rus.)]

Сырейщиков Д.П. Иллюстрированная флора Московской губернии. М., 1906. [Syreyshchikov D.P. Illyustrirovannaya flora Moskovskoj gubernii [Illustrated flora of the Moscow Governorate]. Moscow, 1906.]

Цингер В.Л. Сборник сведений о флоре Средней России. М., 1885. [Tsinger V.Y. Sbornik svedenij o flore Srednej Rossii [Collection of information about the flora of Central Russia]. Moscow, 1885.]

Черная книга флоры Сибири / Эбель А.Л., Куприянов А.Н., Стрельникова Т.О. и др. Новосибирск, 2016. [Ebel A.L., Kupriyanov A.N., Strelnikova T.O. et al. Chernaya kniga flory Sibiri [Black Book of the Flora Siberia]. Novosibirsk. 2016.]

Черная книга флоры Дальнего Востока: инвазионные виды растений в экосистемах Дальневосточного Федерального Округа / Виноградова Ю.К., Антонова Л.А., Дарман Г.Ф. и др. М., 2021. [Vinogradova Yu.K., Antonova L.A., Darman G.F. et al. Chernaya kniga flory Dalnego Vostoka: invazionnye vidy rastenij v ekosistemah Dalnevostochnogo Federalnogo Okruga [The Black Book of the Flora of the Far East: Invasive Plant Species in the Ecosystems of the Far Eastern Federal District]. Moscow, 2021.]

Чужеродная флора Подмосковья: состав, происхождение и векторы формирования / Майоров С.Р., Алексеев Ю.Е., Бочкин В.Д. и др. М., 2020. [Mayorov S.R., Alekseev Yu.E., Bochkin V.D. et al. Chuzherodnaya flora Podmoskovya: sostav, proiskhozhdenie i vektory formirovaniya [Alien flora of the Moscow region: The composition, origin and the vectors of formation]. Moscow, 2020.]

Шмальхаузен И.Ф. Флора Средней и Южной России, Крыма и Северного Кавказа: Справочник по определению семенных и высших споровых растений. Киев, 1895. [Schmalhausen I.F. Flora Srednej i Yuzhnoj Rossii, Kryma i Severnogo Kavkaza: Spravochnik po opredeleniyu semennyh i vysshih sporovyh rastenij [Flora of Central and Southern Russia, Crimea and the North Caucasus: A guide for determining seed and higher spore plants]. Kiev, 1895.]

Федотова В.В., Челомбитько В.А. Виды рода золотарник (Solidago): значение для медицинской практики, перспективы изучения // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина, Фармация. 2012. № 16 (135). Вып. 19. С. 136–145. [Fedotova V.V., Chelombitko V.A. Species of the genus Goldenrod (Solidago):

Importance for medical practice, prospects for study. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya*: *Medicina*, *Farmaciya*. 2012. No. 16 (135). Is. 19. Pp. 136–145. (In Rus.)]

Baker H.G. Patterns of plant invasion in North America. *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii*. 1986. Vol. 58. Pp. 44–57. DOI: 10.1007/978-1-4612-4988-7_3

CABI. Invasive Species Compendium 2018. (Wallingford, UK: CAB International). URL: www.cabi.org/isc/datasheet/ (accessed: 24.03.2022).

Drew J., Anderson N., Andow D. Conundrums of a complex vector for invasive species control: A detailed examination of the horticultural industry. *Biol. Invasions*. 2010. No. 12. Pp. 2837–2851. DOI: 10.1007/s10530-010-9689-8

Ellenberg H., Leuschner C. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Stuttgart, 1982.

European Pharmacopeia. Nördlingen, 2008.

Hulme P.E. Addressing the threat to biodiversity from botanic gardens. *Trends in Ecology and Evolution*. 2011. Vol. 26. Pp. 168–174. DOI: 10.1016/j.tree.2011.01.005.

Jachula J., Denisow B., Strzałkowska-Abramek M. Does an invader have a bright side? Floral reward in two *Solidago* species. *Journal of Apicultural Research*. 2020. Vol. 59. Issue 4. Pp. 599–608. DOI: 10.1080/00218839.2019.1703086

Karnaukh E.V., Olefir A.S. The latest technology and methods of higher medical education – priority of medicine in Ukraine. *Experimental and Clinical Medicine*. 2014. No. 2. Issue 4. Pp. 1–21.

Kowarik I. Human Agency in Biological Invasions: Secondary releases foster naturalisation and population expansion of alien plant species. *Biological Invasions*. 2003. Vol. 5. Pp. 293–312. DOI: 10.1023/B:BINV.0000005574.15074.66.

Knapp S., Dinsmore L., Fissore C. et al. Phylogenetic and functional characteristics of household yard floras and their changes along an urbanization gradient. *Ecology*. 2012. Vol. 93. Issue 8. Pp. 83–98. DOI: 10.1890/11-0392.1

Lambdon P.W., Pyšek P., Basnou C. et al. Alien flora of Europe: Species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. *Preslia*. 2008. Vol. 80. Issue 2. Pp. 101–149.

Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*. 2005. Vol. 52. Pp. 273–288. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2004.10.002

Tokarska-Guzik B., Brock J.H., Brundu G. et al. Plant Invasions: Human perception, ecological impacts and management. Leiden, 2008.

Pyšek P., Jarošík V., Hulme P.E. et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: The interaction of impact measures, invading species' traits and environment. *Glob. Change Biol*. 2018. Vol. 18. Pp. 1725–1737. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02636.x

Shelepova O.V., Galkina M.V., Dubovik D.A. et al. *Solidago canadensis* impacts on tillable land withdrawn from the farming turnover. *IOP Conf. Series*: *Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 390. Art. 012013. DOI: 0.1088/1755-1315/390/1/012013

Shelepova O., Vinogradova Y., Vergun O. et al. Invasive *Solidago canadensis* L. as a resource of valuable biological compounds. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019. Vol. 13. Issue 1. Pp. 280–286. DOI: 10.5219/1125

Shelepova O., Vinogradova Y., Vergun O. et al. Assessment of flavonoids and phenolic compound accumulation in invasive *Solidago canadensis* L. in Slovakia. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. Issue 1. Pp. 587–594. DOI: 10.5219/1378

Shelepova O., Vinogradova Yu. Phytochemistry and inflorescences morphometry of invasive *Solidago* L. species (Goldenrods) – valuable late autumn mellifers. *Agrobiodivers Improv Nutr Health Life Qual*. 2021. Vol. 5. No. 2. Pp. 209–214. DOI: 10.15414/ainhlq.2021.0019

van Kleunen M., Essl F., Pergl J. et al. The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biol. Rev*. 2018. Vol. 93. Pp. 1421–1437. DOI: 10.1111/brv.12402

Vilà M., Espinar J.L., Hejda M. et al. Ecological impacts of invasive alien plants: A meta-analysis of their effects on species, communities, and ecosystems. *Ecology Letters*. 2011. Vol. 14. Pp. 702–708. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x

Vinogradova Yu.K., Aistova E.V., Antonova L.A. et al. Invasive plants in flora of the Russian Far East: The checklist and comments. *Botanica Pacifica*. 2020. Vol. 9. Issue 1. Pp. 103–129. DOI: 10.17581/bp.2020.09107

Weber E. The dynamics of plant invasions: A case study of three exotic goldenrod species (*Solidago* L.) in Europe. *Journal of Biogeography*. 1998. Vol. 25. Pp. 147–154. DOI: 10.1046/j.1365-2699.1998.251119.x

Weber E., Jakobs J. Biological flora of central Europe: *Solidago gigantea* Aiton. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2005. Vol. 200. Issue 2. Pp. 109–118. DOI: 10.1016/j.flora.2004.09.001.

Статья поступила в редакцию 25.03.2022, принята к публикации 13.05.2022
The article was received on 25.03.2022, accepted for publication 13.05.2022

Сведения об авторах / About the authors

Виноградова Юлия Константиновна – доктор биологических наук; главный научный сотрудник отдела флоры, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, г. Москва

Yulia K. Vinogradova – Dr. Biol. Hab.; chief researcher at the Flora Department, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3353-1230
E-mail: gbsad@mail.ru

Шелепова Ольга Владимировна – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета растений, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, г. Москва

Olga V. Shelepova – PhD in Biology; Leading Researcher at the Laboratory of Plant Physiology and Immunity, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2011-6054
E-mail: shelepova-olga@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Ю.К. Виноградова – анализ литературных данных по истории расселения и инвазии изученных видов, написание текста статьи

О.В. Шелепова – анализ литературных данных по биохимическому составу изученных видов, написание текста статьи, участие в редактировании текста статьи

Contribution of the authors

Yu.K. Vinogradova – analysis of literature data on the history of settlement and invasion of the studied species, writing the text of the article

O.V. Shelepova – analysisofliteraturedataonthebiochemicalcompositionofthestudi edspecies, writing the text of the article, editing the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Обзорная статья

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-220-247

Е.В. Черняева, В.П. Викторов

Московский педагогический государственный университет,
119435 г. Москва, Российская Федерация

Аллелопатические взаимодействия: перспективы прикладных исследований

На основе анализа литературных источников преимущественно 2017–2021 гг. обсуждаются перспективы применения данных научных исследований и прикладных разработок в области аллелопатии для контроля сорных видов и инвазий. Экологизация и развитие органического сегмента сельскохозяйственного производства стимулируют исследования в области создания безопасных для окружающей среды методов защиты растений. Исследования аллелопатической активности ведущих зерновых культур обнаружили значительную гетерогенность по этому признаку у сортов, диких видов и предшественников культурных форм. Создание высокоурожайных сортов с аллелопатическими свойствами современными ускоренными методами селекции находится в стадии перспективных разработок. По моделям молекулярных структур экзометаболитов растений созданы первые органические (биорациональные) гербициды. В статье обсуждены недостатки и преимущества органических гербицидов, актуальные направления научного поиска в этой области. Успешность растительных инвазий в последнее время связывают с возможным аллелопатическим преимуществом видов-пришельцев. Научные разработки в области контроля инвазий включают индукцию биохимических защитных механизмов местной флоры, поиск аборигенных видов, устойчивых к химическим веществам инвайдеров, мониторинг баланса экзометаболитов в лесной подстилке, создание устойчивых к вселению пришельцев и сорных видов искусственных фитоценозов «растительный матрикс». В области инновационного городского озеленения на основе аллелопатии разработаны и апробированы методы создания устойчивых к вселению сорных видов насаждений.

© Черняева Е.В., Викторов В.П., 2022
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Ключевые слова: аллелопатия, конкурентные признаки видов, борьба с сорными видами, растительные инвазии, экзометаболиты растений, растительный матрикс, биорациональные гербициды, озеленение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Черняева Е.В., Викторов В.П. Аллелопатические взаимодействия: перспективы прикладных исследований // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 2. С. 220–247. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-220-247

Review article

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-220-247

E.V. Chernyaeva, V.P. Viktorov

Moscow Pedagogical State University,
Moscow, 129164, Russian Federation

Allelopathic interactions: Prospects of applied research

The article discusses the prospects of applying the scientific research and practical methods in the field of allelopathy for the weed control and combating the invasions based on the analysis of literary sources of 2017–2021. The development of the organic segment of agricultural production stimulates research in the field of environmentally friendly methods of plant protection. Studies of the allelopathic activity of grain crops have found significant heterogeneity on this basis in varieties, wild species and precursors of cultural forms. The creation of high-yielding varieties with allelopathic activity by modern accelerated breeding methods is at the stage of promising developments. The first organic (biorational) herbicides were created based on models of molecular structures of plant allelochemics. The article discusses the disadvantages and advantages of organic herbicides, current directions of scientific research in this field. The success of plant invasions has recently been associated with a possible allelopathic advantage of alien species. Scientific developments in the field of invasion control include the induction of biochemical protective mechanisms of local flora,

the search for native species resistant to invaders' allelochemics, monitoring the balance of exometabolites in the forest litter, the creation of "plant matrix" resistant to alien invasion and weed species attack. In the field of innovative urban landscaping based on allelopathy, methods for creating weed-resistant plantings have been developed and tested.

Key words: allelopathy, competitive traits, weed control, plant invasions, plant exometabolites, plant matrix, biorational herbicides, landscaping

FOR CITATION: Chernyaeva E.V., Viktorov V.P. Allelopathic interactions: Prospects of applied research. *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 220–247. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-2-220-247

Введение

Изучение аллелопатии активизировалось с середины 1990-х гг. в теоретическом и прикладном направлениях. Первое ставит целью изучение самого феномена, идентификацию физиологически активных экзометаболитов, раскрытие механизмов их накопления в различных органах растений, выделения в окружающую среду, преобразования под воздействием факторов окружающей среды, физиологической сущности воздействия на растения-акцепторы, биогеоценотической роли аллелопатии. Второе направлено на разработку, апробацию и внедрение технологий на основе аллелопатии в различные отрасли сельского хозяйства (агрономию, селекцию, лесоводство, биотехнологию, садоводство, ландшафтную архитектуру).

Прикладные исследования главным образом ориентированы на разработку методов контроля сорных и инвазивных видов в искусственных и естественных фитоценозах. При более детальном рассмотрении можно выделить ряд областей, где проблемы борьбы с сорной растительностью наиболее остры. Сложившаяся практика применения химических гербицидов в сельскохозяйственном производстве препятствует переходу от традиционной системы к органической [Narwal, 2010]. В городском озеленении экономические потери от борьбы с засорением насаждений сорными видами не столь масштабны, как в сельском хозяйстве, но значительны для дефицитных городских бюджетов. Аллелопатическое влияние инвазивных растений многие авторы рассматривают как ведущий фактор скорости их распростанения [Callaway, Ridenour, 2004; Кондратьев, Ларикова, 2018]. Мета-анализ глобальной библиотеки данных по аллелопатии показал, что большинство инвазивных видов обладают

аллелопатической активностью, а также она обнаружена у представителей 72% семейств высших растений [Kalisz, Kilvin, Bialic-Murphy, 2021].

Несмотря на неуклонный рост количества исследований, потенциал аллелопатии как инструмента решения агробиотехнических и экологических проблем еще не реализован. Целью работы является обобщение результатов перспективных исследований, апробаций и внедрения прикладных разработок с использованием аллелопатии, на основе литературных источников преимущественно 2017–2021 гг. Работа предназначена для специалистов в области изучения аллелопатии, аспирантов, магистрантов и студентов-биологов.

Контроль сорных видов в агрофитоценозах

В настоящее время в традиционной системе земледелия химические гербициды являются основным средством контроля сорной растительности[1]. Благодаря химизации сельскохозяйственного производства за последние 50 лет удалось значительно повысить урожайность. Создание устойчивых к гербицидам трансгенных культур позволило применять сравнительно менее дорогие и более простые методы ведения сельского хозяйства. В то же время проблемы, связанные с резистентностью сорных видов к распространенным гербицидам, трудности искоренения многолетних видов, появление новых заносных сорных растений создают потребность в повышении эффективности стандартных подходов [Кондратенко, 1987]. На этом фоне все большую озабоченность общественности вызывает химическое загрязнение продуктов питания и окружающей среды, вызванное безконтрольным применением пестицидов. Социальной задачей органического земледелия является улучшение здоровья людей.

Развитие органического сегмента сельскохозяйственного производства подразумевает разработку региональных законодательных актов и единых стандартов органической продукции. Эту деятельность курирует Международная федерация движений за органическое сельское хозяйство (IFOAM). С 2018 г. законодательная основа органического земледелия создана и в нашей стране. 1 января 2020 года вступил в силу Федеральный закон от 3 августа 2018 г. № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», в том числе регламентирующий применение химических пестицидов в производстве продуктов питания. Внимание

[1] Agropages. National Bureau of Statistics of the People’s Republic of China: Total output of chemical pesticides in China increased by 2.3% in 2015. 2015. URL: http://cn.agropages.com/News/NewsDetail-11158.htm

к проблеме на государственном уровне означает поддержку исследований по созданию безопасных для окружающей среды препаратов, разработке органических агротехнологий.

Альтернативой химическим гербицидам могут стать препараты и технологии, основанные на природных веществах растений, грибов и микроорганизмов, определяющих их аллелопатические свойства [Reigosa et al., 2001; Narwal, 2010]. Для разделения биогербицидов (микробных препаратов, вызывающих эпифитотии в популяциях сорных видов) и препаратов на основе вторичных метаболитов растений и фитотоксинов микроорганизмов (аллелохемиков) с гербицидными свойствами последние предложено назвать биорациональными [Берестецкий, 2017] или органическими гербицидами. К последней группе также относят синтетические химические гербициды, созданные по молекулярным моделям аллелохемиков. Разработки и апробации аллелопатических стратегий борьбы с сорными видами уже показали потенциальную эффективность при относительно низких затратах, но при этом остается много не решенных вопросов теоретического и прикладного характера.

Для борьбы с сорными видами может быть использована аллелопатическая активность культурных растений [Кондратьев, Демина, Ларикова, 2017]. Такая активность была обнаружена у большинства зерновых культур: ячменя (*Hordeum vulgare*) [Bouhaouel, 2015], ржи (*Secale cereale*) [Jabran, 2017], риса (*Oryza sativa*) [Kato-Noguchi, Ota, Ino, 2008], сорго (*Andropogon sorghum*) [Ashraf, Iqbal, 2006], подсолнечника (*Helianthus annuus*) [Soltys et al., 2013], пшеницы (*Triticum vulgare*) [Wu et al, 2001].

Сложности с практической реализацией данного подхода связаны с двумя обстоятельствами: лабораторная активность видов и сортов оказалась значительно выше полевой; активность, достаточную для подавления сорных видов, обнаружили у сортов со сравнительно низкой урожайностью. Скрининг сортов ячменя, риса, овса, озимой пшеницы, сорго на аллелопатическую активность позволил обнаружить значительную гетерогенность культур по этому признаку [Nicol et al., 1992; Dilday, Lin, Yan, 1994; Alsaadaw, Al-Ekelle, Al-Hamzawii, 2017]. Например, в биотестах различные сорта ячменя подавляли всхожесть семян сорных видов в диапазоне от 7% до 90% [Bertholdsson, 2007], аллелопатическая активность надземной массы разных видов и сортов овса различалась в два раза [Lemes et al., 2019]. Аллелопатическая активность обнаружена у древних видов и форм зерновых, у сортов народной селекции и диких предшественников культурных растений [Olofsdotter, 2001]. В мировой практике систематически близкие дикие виды или

виды – предшественники культурных форм с аллелопатической активностью предложено использовать в селекции урожайных и высокоэффективных в плане подавления сорных видов, сортов [Fang et al., 2019; Shrestha et al., 2020].

Применение молекулярных маркеров позволяет создавать новые сорта с необходимыми качествами всего за 3–5 лет. Потенциал диких видов зерновых использован в отечественной селекции для выведения альтернативы многолетним пшеницам. В 2020 г. в Госреестр включен уникальный крупнозерный, пригодный для органического земледелия, сорт пырея сизого *Thinopyrum intermedium* Сова, созданный в Омском государственном аграрном университете [Шаманин и др., 2021]. В описании сорта не упоминается аллелопатическая активность, в то время как у видов пырея она была обнаружена [Гродзинский, 1965]. Последующие исследования могли бы прояснить этот вопрос. Первоначально разработанные для повышения качества волокна трансгенные линии хлопка, содержащие 4% генома диких видов рода, тестировали на способность подавлять рост резистентного к широкому спектру химических гербицидов сорного вида амаранта Палмера (*Amaranthus palmeri* L.). Несколько линий вызвали достоверное снижение высоты растений и количества хлорофилла в листьях амаранта, что авторы связывают с влиянием генома диких видов с высокой конкурентностью и аллелопатической активностью [Fuller et al., 2021].

Кроме уже названных обстоятельств, выведение новых сортов осложняется тенденциями, сопровождавшими процесс селекции существующих высокоурожайных сортов, приведшими к снижению их конкурентности [Кошкин, 2016], в то время как конкурентность сорных видов осталась на высоком уровне. Некоторые сорные виды способны выделять аллелопатические вещества в окружающую среду путем экссудации, выщелачивания, разложения листьев, стеблей, корней, цветов [Pandey, Rao, 2010], что приводит к снижению объема и качества урожая. В условиях конкуренции, прежде всего за элементы питания и влагу, негативное воздействие аллелохимикалий сорных видов может усиливаться [Narwal, 2010].

Конкурентность культурных растений характеризуется эффективностью использования ресурсов среды для формирования урожая или подавления роста сорных видов. В связи с этим становится необходимой оценка не только аллелопатических эффектов и урожайности, но и конкурентности новых сортов по отношению к сорным видам [Holmgren, Scheffer, Huston, 1997]. Конкурентные способности культурных растений определяют генотипические признаки (высокая энергия

прорастания, распределение надземной и подземной биомассы, особенности корневой системы, эффективное использование ресурсов) и приемы выращивания (плотность и сроки посева, агрофон) [Кошкин, 2016]. Единственный признак, который определяет конкурентность, в том числе на генетическом уровне, к настоящему времени не обнаружен.

Для решения возникших вопросов необходимо оценить вклад аллелопатии в общее конкурентное взаимодействие растений. На первых этапах задача осложнялась отсутствием соответствующих методик и большим числом факторов, влияющих на данный процесс [Inderjit, del Moral, 1997]. На примере взаимодействия сосны обыкновенной (*Pinus sylvestrys* L.) и водяники гермафродитной *Empetrum hermaphroditum* Hagerup (*Empetraceae*) удалось показать, что аллелопатия и конкуренция могут быть не только разделены, но и количественно оценены [Nilsson, 2004]. В другой работе два сорта риса, один из которых обладал аллелопатической активностью, выращивали совместно с однолетним сорным видом ежовником обыкновенным *Echinochloa crus-galli* L. (*Poaceae*). Данные длины корней, высоты и сухого веса проростков ежовника показали, что с аллелопатией были связаны 35–40 и 9–12% от общего ингибирования ростовых процессов аллелопатичным и нейтральным сортами риса соответственно [He et al., 2012]. В полевом эксперименте исследовали вклад аллелопатии, обнаруженной при биотестировании дерена белого *Cornus alba* L. (*Cornaceae*) и спиреи ниппонской *Spiraea nipponica* Maxim. (*Rosaceae*), в ингибирование ростовых процессов тест-культуры незабудки лесной *Myosotis sylvatica* Ehrh. ex Hoffmann. в подкроновой области кустарников. Расчеты, выполненные на основе данных длины корней и массы особей тест-культуры, показали относительно малый вклад аллелопатического фактора вне зависимости от его направленности – 10% и 12% соответственно [Черняева, Викторов, 2014]. Совершенствование методик экспериментов позволило значительно продинуться в этой области исследований [Quasem, 2017; Liu et al., 2020], в результате сложилось достаточно единодушное мнение о сильной детерминированности аллелопатических эффектов от внешних условий и сравнительно небольшом вкладе аллелопатии в ингибирование целевых видов. Таким образом, сама по себе аллелопатия не может быть определяющим признаком конкурентности. По данным масштабного исследования аллелопатического взаимодействия древесных видов и напочвенного покрова, конкурентность вида или сорта повышается в ряду: аллелопатия < конкурентные признаки < аллелопатия + конкурентные признаки [Fernandez, 2016].

Сравнительное изучение 10 сортов древней зерновой культуры тефф *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter. показало, что конкурентность сортов по отношению к сорным видам определяет комплекс агрономических признаков – общая биомасса, срок от посева до появления всходов, высота растений, аллелопатическая активность. При этом в наибольшей степени густоту стояния сорных видов снижали высокоурожайные сорта, что подтверждает возможность экономически эффективного сочетания признаков [Gebrehivot et al., 2020].

Перечень вопросов, требующих решения в связи с перспективами селекции новых сортов, включает оценку возможной аутотоксичности и развития резистентности сорных видов при повторном культивировании сортов на тех же полях, поиск методов преодоления последствий накопления аллелохимикатов в почве [Gavazzi et al., 2010]. Актуальными представляются исследования по идентификации конкретных аллелохимических веществ и соответствующих генов, которые могут быть применимы в селекционных программах [Fang et al., 2019]. Альтернативные пути использования аллелопатии могут быть связаны, например, с индукцией аллелопатического потенциала урожайных сортов обработкой растворами аллелохимикатов или при воздействии корневых экссудатов сорных видов [Zhang et al., 2018].

Органические агротехнологии, а именно посев аллелопатически активных видов сидератов, обработка грубыми водными экстрактами и мульчирование полей пожнивными остатками аллелопатических видов, продуктами их переработки (растительная мука), отходами сельскохозяйственного и биотехнологического производства, уже довольно широко внедрены в практику современного сельскохозяйственного производства, главным образом для подавления весеннего отрастания сорных видов [Nagabushana, Worsham, Yenish, 2001; Urbano, Gonzalez, Ballesteros, 2006; Faroog et al., 2013]. В настоящее время вика мохнатая *Vicia villosa* Roth. и горох посевной *Pizum sativum* L. (*Fabaceae*) обладающие, кроме аллелопатии, комплексом конкурентных признаков, успешно применяются как покровные культуры («живая мульча») при выращивании риса и хлопка [Shekoofa et al., 2020]. Довольно широко применяется обработка посевов риса, хлопка, сои, пшеницы, кукурузы 10% водным экстрактом «Соргаб» зеленой биомассы сорго с действующим веществом сорголеон. При этом снижалась плотность сорных видов на 44%, а урожай зерна вырастал на 30–40% [Matos et al., 2021]. Экзометаболиты сорго также содержатся в его корневых экссудатах, поэтому культуру высаживают как предшественник для снижения плотности сорных видов, а также в смешаных посевах, для заполнения

междурядий. Эффективность сорголеона повышается при комплексном воздействии, в сочетании с боронованием, применением сниженных доз гербицидов, отсрочкой посева основной культуры.

Механизм действия некоторых известных аллелохимикалий аналогичен действию синтетических гербицидов [Reigosa et al., 2001]. Еще недостаточно изученное разнообразие вторичных метаболитов и поражаемых ими метаболических мишеней (в настоящее время выявлены более 30) в будущем может позволить более избирательно подходить к выбору препаратов и технологий обработки. Поиск веществ, поражающих иные метаболические мишени растений, чем уже известные химические препараты, необходим для борьбы с резистентными к ним сорными видами.

В работе швейцарских исследователей изучено действие синтезируемого эндофитной бактерией рода буркхольдерия *Burkholderia sp*., обитающей в листовых клубеньках тропического кустарника психотрия Кирки *Psychotria kirkii* Hiern., карбосахара (+)стрептол. Он вызывает у высших растений нарушения формирования клеточной стенки в тонких корнях на стадии перехода клеток к анизотропному удлиннению [Georgiou et al., 2021]. Глюкозидированная неактивная форма (+)стрептола транспортируется из листовых клубеньков в корни растения-хозяина с помощью, как полагают авторы, специфических переносчиков. В составе корневых экссудатов (+)стрептол попадает в почву и поражает корни растений – конкурентов *Psychotria kirkii*. Корни останавливаются в развитии, в растущих окончаниях деформируются и разрушаются клеточные стенки, прекращается поглощение воды и минеральных веществ, снижается резистентность к заражению патогенами. Психотрия Кирки является единственным видом среди высших растений, не чувствительным к воздействию (+)стрептола. Открытое вещество назвали «настоящим» (*bona fide*) аллелохемиком, поражающим только высшие растения при низких эффективных концентрациях. Его предложено использовать для создания новых биорациональных гербицидов и исследования процессов роста клеток, формирования тканей и органов растений.

Первоначально полагали, что неоспоримым преимуществом препаратов растительного и микробного происхождения является их деструкция под воздействием света, температуры или почвенными микроорганизмами без образования токсичных соединений, загрязняющих окружающую среду [Reigosa, 2001]. Парадоксально, но некоторые природные соединения и продукты их разложения могут быть токсичными для полезных насекомых, животных, человека [Берестецкий, 2017].

В связи с этим прегербициды, предполагающие промышленное производство и масштабное применение, должны проходить более строгий контроль на токсичность. Для этого выполняют скрининг воздействия препаратов на различные по систематическому положению виды растений, беспозвоночных, рыб, млекопитающих, культуры клеток человека [Georgiou et al., 2021].

Кроме этого, для итогов предварительного лабораторного тестирования прегербицидов важна адекватная оценка выживаемости тех или иных сорных видов и в связи с этим – выбор тест-культур. Ряд биогербицидов микробного происхождения специфичны к определенным сорным видам, спектр поражения фитопрепаратов более широк. Как правило, биотеститование аллелохемиков растительного происхождения проводили с кресс-салатом, однако в целевых исследованиях по разработке биорациональных гербицидов выбор тест-культур был более обоснованным. В связи с устойчивостью к основным механизмам гербицидного поражения «классических» препаратов (глифосат, клопиралид, атразин, сульфонилмочевина), амарант Палмера *Amaranthus palmeri* L., в числе других сорных видов, использовали для тестирования гербицида MBI-011 контактного действия компании Marrone Bio Innovations Inc. на основе амида сарментина из плодов перца длинного *Piper longum* L. В биотестах прогербицид сарментин подавлял на 80–100% прорастание семян ежовника обыкновенного *Echinochloa crus-galli*, амаранта Палмера *Amaranthus palmeri*, одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale*, въюнка полевого *Convolvulus arvensis*, мятлика однолетнего *Poa annua*. Препарат зарегистрирован в США для контроля устойчивых к глифосату сорных видов [Marrone, 2020]. Сарментин эффективен в смеси с триазином, сульфанилмочевиной [Soltys et al., 2013], позволяя на треть снизить применение традиционных химических гербицидов. Виды амарантов, в том числе *Amaranthus palmeri* и щирица запрокинутая *A. retroflexus* L., являются репрезентативными тест-культурами для аллелопатических исследований в этой области. Также необходимо тестировать новые препараты на избирательность поражения двудольных и однодольных растений, зависимость эффекта от температуры, типа почвы, агрофона, определить длительность сохранения действующим веществом своих свойств в почве. Наконец, необходимо определить возможные способы промышленного производства препарата [Там же].

В листьях, коре, корнях, цветках спиреи Тунберга *Spiraea thunbergii* Sieb. ex Blume. (*Rosaceae*) обнаружили фитотоксичную для высших растений *cis*-коричную кислоту в свободной и глюкозидированной

формах, в количествах, достаточных для рентабельного промышленного производства [Hiradate et al., 2004]. Тем не менее, при промышленном выращивании количество конечного продукта может в значительной степени зависеть от внешних факторов. Совместное культивирование протопластов листьев спиреи и кресс-салата подтвердило высокую фитотоксичность низких концентраций двух изомеров, *cis*- и *trans*-коричной кислот, их воздействие на формирование клеточной стенки и деление протопластов тест-культуры [Shirashi, 2021]. Таким образом, культура растительных клеток в качестве источника действующего вещества может быть более производительной, контролируемой и рентабельной. Очищенные препараты коричной кислоты *Spiraea thunbergii* также исследовали с целью выявления участков молекулы, ответственных за гербицидную активность, поскольку строение молекул и механизмы действия природных соединений являются моделями для создания их синтетических аналогов [Wang et al., 2008]. Пеларгоновая, или *n*-нонановая, кислота из группы жирных кислот впервые была выделена из листьев пеларгонии розовой *Pelargonium roseum* [Ciriminna, 2019]. Были проведены лабораторные эксперименты и анализ аналогий строения молекул сарментина и нонановой кислоты. Это позволило объяснить фитотоксичность веществ разрушением кутикулы и деструкцией билипидных слоев клеточных мембран [Lebesque et al., 2019]. Видимые признаки поражения тканей растений нонановой кислотой проявляются уже через 30 минут после обработки, а побурение листьев наступает через несколько часов. Исходное вещество в полевых испытаниях было эффективным только при многократных обработках концентрированными водными растворами. Синтетические препараты контактного действия на основе нонановой кислоты и ее солей оказались более эффективными и уже применяются в Европе, США под торговой маркой Finalsan Weed Free Plus для борьбы с устойчивыми к глифосату сорными видами на приусадебных хозяйствах, в агроценозах, в том числе для предуборочной дессикации.

Нередко в качестве источника действующих веществ для биорациональных гербицидов используют лекарственные растения, поскольку они содержат широкий спектр биологически активных соединений, многие из которых имеют аллелопатическую природу. В свою очередь, скрининг большого количества видов локальной флоры на аллелопатическую активность позволил обнаружить перспективные виды [Begum et al., 2019; Isin Oskan et al., 2019]. Препараты, полученные из сырья лекарственных растений, в экспериментах оказывали угнетающее действие на сорные виды. Экстракты полыни горькой *Artemisia absinthium*

и ромашки аптечной *Matricaria chamomilla* снижали биомассу и темп накопления хлорофилла звездчаткой средней *Stellaria media* [Кондратьев, Ларикова, Давыдова, 2016]. Водный экстракт полыни однолетней *Artemisia annua* L. артемизин применяют для послепосевной обработки посевов сои и пшеницы, он вызывает снижение плотности некоторых сорных видов на 40–66% [Soltys et al., 2013]. Аллелопатические вещества медуницы сахарной *Pulmonaria saccharata* Mill. значительно снижали всхожесть и скорость накопления сухого веса проростками клевера лугового *Trifolium pratense* L. и овсяницы тростниковой *Festuca arundinacea* Schreb. [Chernyaeva, Viktorov, 2020].

Подводя итоги раздела, необходимо отметить, что даже неоспоримые успехи в поиске и эффективном применении новых, экологически безопасных препаратов пока не позволяют надеяться на значительное снижение доли химических гербицидов в самом ближайшем будущем. Низкий молекулярный вес большинства вторичных метаболитов, гидрофильность, наличие стереоцентров способствуют ускоренной деградации, метаболизации, трансформации веществ в окружающей среде с потерей активности и эффективности [Blum, 1995]. Химические гербициды сохраняют свои свойства в почве более длительный срок и оправдывают затраты на производство, транспортировку, внесение. Они поражают определенные метаболические мишени растений, в то время как аллелохемики часто действуют разнонаправленно, повышая риск непредсказуемости воздействия на целевые и нецелевые растения. Поскольку аллелопатические вещества нередко действуют синергически с химическими гербицидами, более вероятным сценарием в обозримом будущем видится значительное снижение уровня применения последних при использовании смесей препаратов и сочетании различных технологий борьбы с сорными видами на основе аллелопатии [Lahmod, Alsaadawi, 2014; Scognamiglio, Schneider, 2020].

С развитием органического сегмента земледелия перспективность рынка препаратов и технологий на основе аллелопатии в России будет расти [Берестецкий, 2017]. Актуальными задачами на современном этапе являются создание новых конкурентных сортов культурных растений с аллелопатическими свойствами, применение чередования в севооборотах или смешаных посевах нейтральных и аллелопатических культур, мульчирование, внесение экстрактов, создание эффективных смесей биорациональных гербицидов и химических препаратов, до того времени, пока на основе феномена аллелопататии не будут разработаны новые, более эффективные препараты и технологии. Научные исследования в этом направлении рекомендуется сконцентрировать

на поиске устойчивых в окружающей среде, нетоксичных, эффективных против высших растений в диапазоне 10^{-5}–10^{-7} М аллелохемиков узконаправленного физиологического действия и разработке рентабельных агротехнологий с применением аллелопатических эффектов [Soltys et al., 2013].

Аллелопатия и контроль сорных видов в зеленых насаждениях

Агроценозы занимают 35% площади суши, а урбанизированные территории – до 3% [Agropages…, 2015]. Однако, без ложного преувеличения, зеленые насаждения формируют среду обитания современного человека и напрямую влияют на ее качество, в наибольшей степени – в условиях городской застройки. Городские зеленые насаждения находятся в условиях химического, температурного, водного стресса [Карписонова и др., 2017]. Конкуренция с сорными видами приводит к снижению жизненности и общей декративности насаждений, нарушает средопреобразующую функцию растений. Борьба с нежелательной растительностью в городском зеленом фонде приводит к значительным экономическим потерям, необходимости прибегать к ручной прополке в связи со спецификой структуры насаждений, высокими требованиями к содержанию обьектов городского хозяйства и регламентацией применения химических гербицидов Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению в РФ, и СанПиН 1.2.2584–10. Ручная прополка, кроме того, опасна, например, развитием дерматита у работников в результате токсического поражения соком инвазивного *Heracleum sosnowskyi*, активно осваивающего среднерусские, в том числе городские, ландшафты. В сравнительно ограниченном обьеме ландшафтного строительства внедрение органических технологий может происходить более интенсивно, чем в сельском хозяйстве, и способствовать прогрессу этого направления в целом.

Самыми проблемными участками городского благоустройства во всем мире, в том числе в России, являются придорожные полосы вдоль транспортных магистралей, тротуаров, автостоянок, суммарная площадь которых постоянно растет и составляет в отдельных городах четвертую часть от площади всех городских обьектов озеленения [Eom, Yang, Weston, 2006; Тлустая, Шкурко, 2017]. Под влиянием автомобильного загрязнения присходят деградация газонных покрытий и экспансия сорных видов, развивается почвенная эрозия. Акцент на разработку альтернативных, нехимических стратегий борьбы с засорением насаждений в США и Новой Зеландии, лидирующих в данном направлении, вызвал

появление долговременных исследовательских проектов по изучению и апробации почвопокровных растений с аллелопатической активностью [Eom et al., 2005; Chin, 2012] для озеленения придорожных полос. К почвопокровным растениям традиционно относят травянистые многолетники с преимущественным вегетативным размножением, активно захватывающие и длительно удерживающие территорию с помощью подземных корневищ и надземных столонов.

Конкурентность природных видов сформировалась в процессе их эволюционного развития. Экологическая (органическая) концепция озеленения рассматривает естественную конкурентоспособность растений как ценный экономический ресурс и предполагает преимущественное использование аборигенных природных видов, или устойчивых интродуцентов [Карписонова и др., 2017]. Данные скрининга аллелопатической активности растений позволяют находить перспективные виды для дальнейшего изучения и апробации в качестве почвопокровных культур. При более подробном изучении ряд почвопокровных видов, помимо аллелопатии, характеризовался высокими индексами скорости роста и фотосинтетической продуктивности, т.е. физиологическими критериями конкурентности [Shirashi et al., 2002; Weston, 2008]. Долговременное удержание территории в большой степени обеспечивала способность к самоподдержанию за счет высокопродуктивного вегетативного размножения. Плотный полог листвы, снижающий интенсивность проникновения лучей красной части спектра, значительная надземная биомасса также способствовали эффективному угнетению сорных видов [Eom, Yang, Weston, 2006].

С. Еом с соавторами провел двухлетние полевые испытания пятнадцати видов почвопокровных растений. Полностью подавляли рост проростков сорных видов растения с аллелопатической активностью котовник Фассена *Nepeta* × *faasenni* Berg., овсяница красная *Festuca rubra*, чабрец ползучий *Thymus serpillum* L., золотарник опаленный *Solidago sphacelata* Raf. (низкорослая форма). Помимо аллелопатии, раннее начало вегетации и ускоренное формирование плотного полога листвы отмечены как наиболее важные характеристики почвопокровных видов, способных подавлять весенний максимум отрастания сорной растительности [Eom et al., 2005]. Таким образом, конкурентоспособность видов оценивали по комплексу значимых критериев, а не только по степени фитотоксичности. В свою очередь, рассмотрение аллелопатиии в отрыве от всего комплекса адаптивных стратегий вида не раскрывает истинные механизмы его конкурентоспособности и может привести к ложным заключениям.

Часто внимание практиков привлекают виды, показавшие в лабораторных биотестах так называемую «высокую» активность, о которой судят по 80–100-процентному ингибированию прорастания семян тест-культур. Вопрос оценки интенсивности или силы аллелопатического воздействия начиная с самых ранних исследовательских работ по аллелопатии представлялся чрезвычайно важным для сопоставления, анализа и интерпретации данных [Гродзинский, 1965; Liui, An, Wu, 2007].

А.М. Гродзинский связывал интенсивность аллелопатической активности вида с его фитоценотической стратегией и выделил по этому признаку три группы растений. К первой группе он отнес виды с высокой активностью, легко внедряющиеся в фитоценозы, но не способные в силу аутоинтоксикации долго произрастать на одном месте. Ко второй – виды с невысокой активностью, часто способные к вегетативному разрастанию, временному доминированию в ценозах, вытеснению конкурентов, если внешние условия препятствуют накоплению аллелохимикатов выше токсичного для них уровня. В третью группу были включены виды со слабой аллелопатической активностью, преимущественно доминанты и эдификаторы фитоценозов, десятки и сотни лет удерживающие свои позиции. Создаваемый ими аллелопатический фон не препятствует произрастанию адаптированных к нему видов [Гродзинский, 1965]. Принимая во внимание, что аллелохимикалии в большинстве случаев представляют собой комплекс из нескольких веществ с аддитивным, синергическим или антагонистическим взаимодействием, затрудняющим реалистичную оценку интенсивности физиологической реакции акцепторов, такая классификация представляется весьма функциональной.

В связи с возможной аутоинтоксикацией видов с сильной аллелопатией и возможной угрозой инвазии, более перспективными для озеленения представляются виды и сорта с относительно невысокой аллелопатической активностью. Стрессовые условия городской среды могут изменять аллелопатическую активность растений. Адаптация видов к факторам, ответственным за городской стресс (антропогенный химический фон, дефицит влаги, температурные аномалии, деградированные почвы) проявлялась на уровне морфологических и физиологических изменений, напрямую влияющих на конкурентность: снижались высота стеблей, площадь листьев, число рамет, темпы ростовых процессов, интенсивность фотосинтеза [Chin, 2012]. Как следствие, возможно снижение темпов образования экзометаболитов. Почвопокровный вид медуница сахарная *Pulmonaria saccharata* Mill. с относительно

невысокой аллелопатической активностью в биотестах, в насаждениях на территории г. Москва, полностью подавлял сорные виды. При сравнении аллелопатической активности особей идентичных клоновых популяций, произраставших в городе и в сельской местности, оказалось, что количество аллелохимикалий в листьях медуницы городской популяции, и соответственно аллелопатическая активность в биотестах, были ниже. Однако это не повлияло на гербицидную способность растений, т.к. порог эффективной концентрации и дозы аллелохимикалий был низким [Chernyaeva, Viktorov, 2020]. С другой стороны, одним из компенсаторных механизмов в ответ на стрессовое воздействие может быть индукция аллелопатическо потенциала как культурных, так и сорных видов [Zhiang et al., 2018; Wu et al., 2020]. Мы не обнаружили в литературе упоминаний о связи синантропности с аллелопатией, однако, по нашему мнению, это явление также может быть рассмотрено как индукция городским химическим фоном, своеобразным аналогом аллелопатического фона, фитохимических адаптаций растений.

Использование в озеленении почвопокровных видов, но при этом недостаточно эффективных в подавлении сорной растительности, в ряде случаев может сопровождаться применением гербицидов с меньшей интенсивностью, как по дозе, так и по количеству обработок. Вид-интродуцент вероника нитевидная *Veronica filiformis* Sm. с высокой аллелопатической активностью и устойчивостью к широкому спектру гербицидов в средней полосе России на газонах вытесняет злаки и классические сорные виды в локациях с достаточным увлажнением. В ряде европейских стран этот вид признан инвазивным [Sera, Kobes, 2016], поэтому рекомендовать его для озеленения придорожных полос в России не представляется возможным без дополнительных исследований. По аналогичной причине угрозы инвазии и резистентности к широкому спектру гербицидов интродуцированную в Новую Зеландию веронику тимьянолистную *V. serpillifolia* L. не рекомендовали для озеленения придорожных полос [Chin, 2012]. В России, где *V. serpillifolia* является аборигенным видом, он перспективен в связи с возможностью периодической обработки насаждений гербицидами.

Органические материалы для мульчирования почвы в приствольных кругах, под пологом древесных групп, в цветниках и цветочных контейнерах (щепа, кора) тестировали на аллелопатическую активность [Saha, Marble, Pearson, 2018]. Хотя растительная биомасса ряда видов деревьев, кустарников показала достаточно высокую активность, к этой идее следует отнестись с осторожностью. Большой обьем мульчи (эффективный слой составляет 10–12 см) и одномоментное высвобождение

высоких концентрации аллелохимикалий в ограниченном объеме почвы может вызвать серьезные фитохимические повреждения соседних растений, газонов. Необходимы предварительные исследования, разработка эффективных биотехнологий мульчирования с применением аллелопатического эффекта.

Для создания эффективных стратегий борьбы с сорными видами в городском озеленении необходимо всестороннее понимание влияния аллеопатически активных растений на окружающую среду (почву, соседние растения), а также влияние антропогенного фактора на состояние зеленых насаждений. В городском зеленом строительстве успех определяет комплекс мер с учетом биологии сорных видов: особенностей размножения, устойчивости к различным факторам среды, в том числе конкурентности по отношению к почвопокровным видам.

Контроль инвазий и инвазибельность сообществ

В нашем обзоре мы сделали акцент на практических методах контроля, разработанных к настоящему времени, поскольку аллелопатии отводится важная роль как в возникновении инвазий, так и в борьбе с ними. В мета-анализе 2020 г. данных исследований аллелопатии отмечено, что экзометаболиты чужеродных, в том числе инвазивных видов, подавляли физиологические процессы у аборигенных видов чаще и сильнее, чем другие аборигенные виды с аллелопатической активностью [Zhang et al., 2020].

Несмотря на предпринимаемые усилия в борьбе с инвазиями, многие подходы оказались неэффективными [Sera, Kobes, 2016]. Механическое уничтожение требует огромных трудовых затрат, химический контроль является дорогостоящим и может привести к загрязнению окружающей среды, и поэтому разработке экологических методов контроля уделяется большое внимание [Виноградова, Майоров, Хорун, 2009].

Предотвращать инвазии и минимизировать экологический ущерб в ряде исследований предполагается с помощью устойчивых аборигенных видов, или видов с аллелопатической активностью, к которой чувствительны инвазионные виды [Cheng, Peng, 2017]. Получены данные, что после контакта с видом-пришельцем некоторые местные виды вырабатывали адаптации к фитохимическим веществам интродуцента и в биотестах демонстрировали большую устойчивость к его аллелохимическому воздействию, чем особи, никогда не контактировавшие с ним. В дальнейшем вид, способный к такой адаптивной реакции, может быть эффективным экологическим «оружием» для сдерживания растительной экспансии. Проект подавления распространения

инвазивного вида предполагает ускоренное размножение особей, получивших фитохимический «иммунитет» против инвайдеров и последующую реинтродукцию их потомства в фитоценоз. Потомство таких растений, по сообщениям [Callaway et al., 2005], также обладало большей резистентностью к влиянию инвазивного вида. Со временем в атакованном пришельцами сообществе могут преобладать особи, не чувствительные к аллелохимикалиям захватчика и способные эффективно конкурировать с ним.

Существенному прогрессу в разработке методов контроля инвазий способствовало накопление данных об аллелопатических свойствах аборигенных видов, в том числе доминант и эдификаторов сообществ. Фитоценотическая функция «слабой» аллелопатии реализуется в условиях биологического разнообразия в ценозах, при участии почвенной биоты. Аллелопатию такого типа называют косвенной. Экзометаболиты в составе смывов с листьев, корневых экссудатов, опада, подстилки преобразуются почвенными микроорганизмами, разлагаются под влиянием света, температуры, кислорода, а также вступают в реакции с органическими соединениями почвы [Blum, 1995]. Косвенная аллелопатия обычно проявляется как слабое угнетение или небольшая стимуляция ростовых процессов, обычно не превышающих 5–15%. А.М. Гродзинский отмечал, что слабую аллелопатию лесной подстилки, корневых выделений растений нельзя недооценивать в связи с ее фитоценотическим масштабом и длительностью воздействия [Гродзинский, 1965, с. 110].

В практике борьбы с сорными, в том числе инвазивными видами большую роль сыграла гипотеза Ч. Элтон меньшей инвазибельности полночленных многовидовых сообществ с устойчивыми межвидовыми взаимодействиями [Elton, 1958]. Ряд научных работ в целом подтвердили ее при условии полидоминантности фитоценозов [Виноградова, Майоров, Хорун, 2009]. Гипотеза послужила отправной точкой для разработки проектов искусственных растительных сообществ или «растительного матрикса» с относительно высоким видовым разнообразием, контролируемой структурой, акцентированной естественной декоративностью для применения в инновационном городском озеленении и восстановлении растительного покрова при рекультивации промзон, нарушенных территорий.

Термин «матрикс» был предложен английским ботаником, многолетним главой отдела физиологии растений Королевского ботанического сада в Кью (Великобритания) Петером Томпсоном в 2007 г. для обозначения надземной и подземной частей растительного сообщества,

основанного на конкурентных отношениях между различными слагающими его видами [Thompson, 2007]. В отечественной литературе близким, но не идентичным, является понятие комплексного фитогенного поля, введенное в 1965 году А.А. Урановым [Черняева, Викторов, 2016]. Несмотря на то, что в популярных практических руководствах новая концепция изложена «вне научной проблематики и терминологии», при ее разработке учтены основные положения фитоценологии и экологии растений, в том числе аллелопатические взаимодействия.

П. Томпсон предложил в качестве образцов искусственные сообщества, построенные на моделях многоярусных лесов Новой Зеландии, лесных фитоценозов северного полушария, сообществ степей, полупустынь, лугов и прерий. В ландшафтных композициях такого типа в качестве доминант и эдификаторов высаживают аборигенные деревья, кустарники, злаки со слабой аллелопатической активностью. Под пологом эдификаторов, в созданной ими конкурентной, в том числе аллелопатической среде, размещают тщательно подобранные виды ассектаторов (аборигенных и интродуцированных видов). Выбор видов учитывает экологические условия локации, поскольку сила функциональных связей между видами детерминирована большим количеством внешних факторов. Матрикс представлял собой комбинацию около десятка или более видов различных экоценотических групп и экологических стратегий, образующих непрерывное общее фитогенное поле. Кустарники, многолетники, почвопокровные виды, злаки, многолетники распределяют по площади насаждения, имитируя способы их естественного распространения, т.е. одиночно, небольшими группами, пятнами, массивами. В некоторых крупномасштабных насаждениях проектировали «сукцессионные» процессы – постепенное вытеснение одних видов многолетних трав другими.

В конкурентном поле эдификаторов у видов-ассектаторов синхронизируется фенология, замедляются темпы роста и онтогенеза. По мере разрастания растений увеличиваются объемы опада, корневых экссудатов, смывов, активизировалась почвенная биота. Эти процессы обеспечивают поддержание аллелопатического фона искусственного сообщества в состоянии устойчивого динамического баланса. Слабая аллелопатия может иметь избирательный видоспецифичный характер, активизируя адаптивную селекцию видов в фитогенном поле эдификатора [Черняева, Викторов, 2014]. На фоне преобладающего прессинга корневой конкуренции аллелохимикалии выполняют сигнальную функцию, объединяют функциональные компоненты фитоценоза, мобилизуют

его защитные механизмы против вселения сорных, нежелательных и инвазивных видов. С помощью системы агротехнического контроля можно повысить резистентность искусственных растительных конструкций к вселению нежелательных видов, например, моделируя почвенные условия или устанавливая запрет на уборку листового опада.

Ряд научных исследований в этом направлении раскрывает механизмы формирования защитного аллелопатического барьера в естественных сообществах. В лесах Южного Китая обнаружили накопление лесной подстилкой и почвой абсцизовой кислоты, выщелачиваемой осадками из листьев доминантных древесных видов [Liu, Chen, Peng, 2015]. Экстракты оказывали слабое ингибирующее действие на аборигенные виды и значительно угнетали ростовые процессы инвазивных видов. Принимая во внимание быструю деградацию абсцизовой кислоты под влиянием температуры, света, почвенных микроорганизмов, был сделан вывод о потенциальной роли динамического баланса абсцизовой кислоты почвы и подстилки в устойчивости лесных сообществ к вселению пришельцев. В том же направлении выполнена работа российских исследователей по сравнительному анализу аллелопатической активности лесной подстилки, почвы, смывов с листьев видов-эдификаторов в реликтовых сообществах и искусственных лесонасаждениях Южного Урала, в которой обнаружена более высокая активность образцов из реликтовых лесов [Левченко, Гетманец, Викторов, 2020].

Следует различать ландшафтные композиции, визуально имитирующие естественную растительность, и искусственные фитоценозы с предполагаемой функциональной структурой. Как и все подобные инновации, концепция растительного матрикса требует научной проверки. В этом смысле практическое применение концептуальных посадок в озеленении является масштабным долговременным экспериментом.

В связи с необходимостью научного обоснования, реализацию крупных флагманских проектов доверили специалистам с профильной подготовкой по фитоценологии и экологии растений, например, английскому дизайнеру Дану Пирсону (Dan Pearson). В 1999–2001 гг. им были созданы крупный ландшафтный парк «Tokachi Millenium Forest» (о. Хоккайдо, Япония), инновационное озеленение набережных, бульваров, площадей, территорий при общественных зданиях Лондона в 2011–2019 гг.[2]

[2] Butter S. Planting for future: Dan Pearson designing London's Garden Bridge. *Evening Standart*. 6.12.2013.

[Butter, 2013; Pearson, Shintani, 2021]. В настоящее время ландшафтную концепцию, основанную на конкуренции и аллелопатии, популяризируют при поддержке экологов, СМИ, природохранных организаций, поскольку она превносит в ландшафтное строительство принципы органического земледелия – снижение химического загрязнения, экономию ресурсов, сохранение биоразнообразия.

Таким образом, экологический контроль инвазий предполагает восстановление или моделирование естественных защитных механизмов фитоценозов. Для манипулирования индуцированным фитохимическим иммунитетом аборигенных видов и мониторинга процессов, влияющих на формирование защитных свойств ценозов, необходимы дальнейшие исследования по поиску, выделению, идентификации аллелохимикалиев аборигенных и интродуцированных видов, путей их экскреции, преобразования в окружающей среде, накопления в почве и подстилке, раскрытию физиологических механизмов их действия.

Заключение

В настоящее время количество зарегистрированных и успешно коммерциализированных биорациональных гербицидов в мире исчисляется единицами, новые сорта зерновых культур с аллелопатической активностью находятся в стадии разработки.

Несмотря на значительную детерминированность аллелопатических эффектов от внешних и внутренних факторов, примеры успешной реализации практических разработок вселяют надежду на устойчивый прогресс в развитии этого направления науки. В нашей стране ведутся научные исследования в этой области. В сотрудничестве с зарубежными ландшафтными архитекторами и под научным руководством специалистов Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН и Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова, выполнено растительное оформление инновационного парка Зарядье. В Институте биологии и химии МПГУ автором статьи разработана программа дисциплины «Экологические основы ландшафтного дизайна», которая реализуется на постоянной основе с 2009 г. по настоящее время; бакалавры и магистры выполняют выпускные квалификационные работы по этой тематике.

Подводя итоги обзора литературы, нужно отметить возрастающую востребованность безопасных для окружающей среды способов контроля нежелательных видов на фоне общего тренда на экологизацию сельскохозяйственного производства, ландшафтного строительства и методов охраны биоразнообразия.

Библиографический список / References

Берестецкий А.О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // Вестник защиты растений. 2017. Вып. 1 (91). С. 5–12. [Beresteczkij A.O. Prospects for the development of biological and biorational herbicides. *Plant Protection News*. 2017. No. 1 (91). Pp. 5–12. (In Rus.)]

Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М., 2009. [Vinogradova Yu.K., Majorov S.R., Xorun L.V. Chernaya kniga flory Sredney Rossii (Chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii) [The Black Book of the flora of Central Russia (Alien plant species in the ecosystems of Central Russia)]. Moscow, 2009.]

Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Киев, 1965. [Grodzinskij A.M. Allelopatiya v zhizni rasteniy i ikh soobshchestv [Allelopathy in the life of plants and their communities]. Kyiv, 1965.]

Кондратенко В.И., Воеводин А.В. О резистентности сорных растений к гербицидам // Сельскохозяйственная биология. 1987. № 5. С. 64. [Kondratenko V.I., Voevodin A.V. On the resistance of weeds to herbicides. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 1987. No. 5. P. 64. (In Rus.)]

Кондратьев, М.Н., Ларикова А.Н., Давыдова А.Н. Потенциальные биогербицидные свойства некоторых лекарственных растений // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2016. № 6. С. 62–66. [Kondratyev M.N., Larikova A.N., Davydova A.N. Potential bio-herbicidal properties of some medicinal plants. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2016. No. 6. Pp. 62–66. (In Rus.)]

Кондратьев М.Н., Демина О.С., Ларикова Ю.С. Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов. Требования к методике проводимых экспериментов // Научная жизнь. 2017. № 9. С. 14–21. [Kondratyev M.N., Demina O.S., Larikova Yu.S. The effect of root secretions of cultivated plants on the growth of weed species. Requirements for the methodology of conducted experiments. *Nauchnaya zhizn*. 2017. No. 9. Pp. 14–21. (In Rus.)]

Кошкин Е.И. К проблеме конкуренции культурных и сорных растений в агорофитоценозе // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2016. Вып. 4. С. 53–65. [Koshkin E.I. On the problem of competition of cultivated and weed plants in agrophytocenosis. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy* (*TAA*). 2016. No. 4. Pp. 53–65. (In Rus.)]

Крупнозерный сорт пырея сизого (*Thynopypum intermedium*) Сова как альтернатива многолетней пшенице / Шаманин В.П., Моргунов А.И., Айдаров А.Н. и др. // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 3. С. 450–464. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.450rus [Shamanin V.P., Morgunov A.I., Ajdarov A.N. et al. Coarse-grained variety of gray wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) Sova as an alternative to perennial wheat. *Agricultural Biology*. 2021. Vol. 56. No. 3. Pp. 450–464. (In Rus.) DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.450rus]

Левченко П.В., Гетманец И.А., Викторов В.П. Аллелопатический эффект на прорастание семян *Linum sativa* L. вытяжек листового опада из естественных

и искусственных сообществ некоторых широколиственных пород // Ученые записки Челябинского отделения Русского ботанического общества: Сб. ст. Челябинск, 2020. С. 29–34. [Levchenko P.V., Getmanecz I.A., Viktorov V.P. Allelopathic effect on germination of *Linum sativa* L. seeds extracts of leaf litter from natural and artificial communities of some broad-leaved species. *Uchenye zapiski Chelyabinskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshhestva*. Chelyabinsk, 2020. Pp. 29–34. (In Rus.)]

Тлустая С.Е., Шкурко О.А. Принципы озеленения транспортных площадей города Владивостока // international Scientific Review. 2017. С. 109–112. [Tlustaya S.E., Shkurko O.A. Principles of landscaping of transport areas of Vladivostok. *International Scientific Review*. 2017. Pp. 109–112. (In Rus.)]

Черняева Е.В., Викторов В.П. Влияние фитогенных полей *Cornus alba* L. и *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. на состояние напочвенного покрова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1618–1621. [Chernyaeva E.V., Viktorov V.P. Influence of phytogenic fields of *Cornus alba* L. and *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. on the characteristics of ground cover. *Tambov University Review*. *Series*: *Natural and Technical Sciences*. 2014. Vol. 19. No. 5. Pp. 1618–1621. (In Rus.)]

Черняева Е.В, Викторов В.П. История и современное состояние изучения фитогенных полей // Социально-экологические технологии. 2016. № 1. С. 69–103. [Chernyaeva E.V, Viktorov V.P. History and current state of the study of phytogenic fields. *Environment and Human*: *Ecological Studies*. 2016. No. 1. Pp. 69–103. (In Rus.)]

Экологическое обоснование отбора декоративных многолетников для городского озеленения / Карписонова Р.А., Бондорина И.А., Кабанов А.В. и др. // Hortus botanicus. 2017. № 12. С. 356–360. [Karpisonova R.A., Bondorina I.A., Kabanov A.V. et al. Ecological justification of selection of ornamental perennials for urban landscaping. *Hortus botanicus*. 2017. No. 12. Pp. 356–360. (In Rus.)]

Alsaadaw S., Al-Ekelle M.C.S., Al-Hamzawii M.K. Differential allelopathic potential of grain sorghum genotypes to weeds. *Allelopathy Journal*. 2017. Vol. 19. No. 1. Pp. 153–159.

Ashraf M., Iqbal Z. Allelopathic effects of sorghum herbage mulch and sorghum herbage water extract on weeds suppression and grain yield of wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2006. Vol. 22. Pp. 667–672.

Begum K., Shammi M., Hasan N. et al. Potential allelopathic candidates for land use and possible sustainable weed management in South Asian ecosystem. *Sustainability*. 2019. Vol. 11 (9). P. 2649. DOI: 10.3390/su11092649

Bertholdsson N.-O. Variation in allelopathic activity over 100 years of barley selection and breeding. *Weed Research*. 2007. Vol. 44. Pp. 78–86.

Blum U. The value of model plant-microbe-soil system for understanding processes assotiated with allelopathyc interaction between plants. *Allelopathy*. 1995. Pp. 127–131. DOI: 10.1021/BK-1995-0582.CH009

Bouhaouel I. Allelopathic and autotoxicity effects of barley (Hordeum vulgare ssp. vulgare) root exudates. *BioControl*. 2015. Vol. 60. Pp. 425–436.

Callaway R., Ridenour W. Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Ecol. Environ*. 2004. Vol. 2 (8). Pp. 436–443. DOI: 10.1890/1540-9295(2004)002[0436:NWISAT]2.0.CO;2

Callaway R., Ridenour W., Laboski T. et al. Natural selection for resistance to the allelopathic effects of invasive plants. *J. Ecology*. 2005. Vol. 93. Pp. 576–583.

Ciriminna R., Fidalgo A., Ilhario L.M., Pagliaro M. Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*. 2019. Vol. 13 (1). Pp. 1476–1482. DOI: 10.1002/bbb.2046

Chen B-M., Liao H., Chen W-B. Role of allelopathy in plant invasion and control of invasive plants. *Allelopathy Journal*. 2017. Vol. 41 (2). Pp. 155–166.

Chernyaeva E.V., Viktorov V.P. New bioassay method to study allelopathic activity of sugar langwort *Pulmonaria saccharata* Mill. *Allelopathy Journal*. 2020. No. 51 (1). Pp. 93–112. DOI: 10.26651/allelo.j/2020-51-1-1293

Chin L.F. Ground cover plants for weed control in amenity horticulture. PhD thesis. Massey University, New Zeland. 2012.

Cummings J.A., Parker I.M., Gilbert G.S. Allelopathy: A tool for weed management in forest restoration. *Plant Ecology*. 2012. Vol. 213. Pp. 1975–1989.

Da Salva E.R., Overbeck G.E., Soares G.L.G. Something old, something new in allelopathy review: What grassland ecosystem tell us. *Chemoecology*. 2017. Vol. 27. Pp. 217–231. DOI: 10.1007/s00049-017-0249-x

Dilday R.H, Lin J., Yan W. Identification of allelopathy in the USDA-ARS rice germplasm collection. *Australian Journal Experimental Agriculture*. 1994. Vol. 34. Pp. 907–910.

Eom S., Yang H.S., Weston L.A. An evaluation of the allelopathic potential of selected perennial groundcovers: Foliar volatiles of catmint (*Nepeta* × *faassenii*) inhibit seedling growth. *Journal of Chemical Ecology*. 2006. Vol. 32 (8). Pp. 1835–1848. DOI: 10.1007/s10886-006-9112-1

Eom S., Senesac A.F., Tsontakis-Bradley L., Weston L.A. Evaluation of herbaceous perennials as weed suppressive groundcovers for use along roadsides or in landscapes. *Journal Environment Horticulture*. 2005. Vol. 23. Pp. 198–203.

Faroog M., Bajwa A., Alam S., Cheema Z.A. Application of allelopathy in crop production. *Int. J. of Agr. and Biol*. 2013. Vol. 15 (6). Pp. 1367–1378.

Fang C-X., Yang L., Chen W. et al. OsMYB57 transcriptionally regulates OsMAPK11 to interact with OsPAL2;3 and modulate rice allelopathy. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 71 (6). Pp. 2127–2142. DOI: 10:10.1093/jxb/erz540

Fernandez C., Monnier Y., Santonja M. et al. The impact of competition and allelopathy on the trade-off between plant defense and growth in two contrasting plant species. *Front Plant Sci*. 2016. Vol. 7. Pp. 594.

Fujii Y. Toxic chemicals from invasive alien plants. *Plant Toxins*. 2017. Vol. 17. Pp. 25–36. DOI: 10.1007/978-94-007-6464-4

Fuller M.G., Saha S., Stelly D.M. et al. Assesing the weed-supressing potential of cotton chromosome substitution lines using the stair-step assay. *Plants*. 2021. Vol. 10 (11). P. 2450. DOI: 10.3390/plants10112450

Gavazzi C., Shulz A., Marocco A., Tabaglio V. Sustainable weed control by allelochemicals from rye cover crops: From the greenhouse to field evidence. *Allelopathy Journal*. 2010. Vol. 25 (1). Pp. 259–273.

Gebrehivot H., Aune J., Eklo O. et al. Allelopathic potential of teff varieties and effect on weed growth. *Agronomy*. 2020. Vol. 10 (6). P. 854. DOI: 10.3390/agronomy10060854

Georgiou A., Sieber S., Hsiao C-C. et al. Leaf nodule endosymbiotic *Burkholderia* confer tardgeted allelopathy to their *Psychotria* hosts. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. P. 22465. DOI: 10.1038/s41598-021-01867-2

He H.B., Wang H.B., Fang C.X. et al. Separation of Allelopathy from resource competition using rice/barnyardgrass mixed-cultures. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7 (5). e37201. DOI: 10.1371/journal.pone.0037201

Hiradate S., Morita S., Sugie H. et al. Phytotoxic cis-cinnamoyl glucosides from *Spiraea thunbergia*. *Phytochemistry*. 2004. Vol. 65. Pp. 731–739. DOI: 10.1016/j.phytochem.2004.01.010

Holmgren M., Scheffer M., Huston M.A. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*. 1997. Vol. 78. Pp. 1966–1975. DOI: 10.1890/0012-9858(1997)078

Inderjit, del Moral R. Is separating resource competition from allelopathy realistic? *Bot. Rev*. 1997. Vol. 63. Pp. 221–230.

Isin Ozkan T.G., Urusak E.A., Appiah K.S., Fujii Y. First broad screening of allelopathic potential of wild and cultivated plants in Turkey. *Plants*. 2019. Vol. 8. Pp. 1–12. DOI: 10.3390/plants8120532

Jabran K. Rye allelopathy for weed control. *Manipulation of allelopathic crops for weed control*. Springer Int. Pub. AG, 2017. Pp. 49–56. DOI: 10.1007/978-3-319-53186-1_6

Kato-Noguchi H., Ota K., Ino T. Release of momilactone A and B from rice plants into the rhizosphere and its bioactivities. *Allelopathy Journal*. 2008. Vol. 22 (2). Pp. 321–328.

Kalisz S., Kilvin S., Bialic-Murphy L. Allelopathy is pervasive in invasive plants. *Biol. Invas*. 2021. Vol. 23. Pp. 367–371. DOI: 10.1007/s10530-020-02383-6

Liu C., Bu Z-J., Mallik A.U. et al. Resource competition and allelopathy in two peat mosses: Implication for niche differentiation. *Plant and Soil*. 2020. Vol. 446. Pp. 229–242. DOI: 10.1007/s11104-019-04350-0

Liu J-G., Chen B-M., Peng S-L. Abscisic acid contributes to the invasion resistance of native forest community. *Allelopathy Journal*. 2015. Vol. 36 (2). Pp. 247–256.

Lebesque S., Lins L., Dayan F., Fauconnier M-L. Interaction between natural herbicides and lipid bilayers mimicking the plant plasma membrane. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. Pp. 1–11. DOI: 10.3389/fpls.2019.00329

Lemes C.F.C., Scheffer-Bosso B., Deuner C., Bergham S. Analysis of genotypic variability in Avena spp. Regarding allelopathic potenciality. *Planta Daninha*. 2019. Vol. 37. e019191107. DOI: 10.1590/s0100-83582019370100100

Lahmod N.R., Alsaadawi I.S. Weed control in wheat using sorghum residues and less herbicide. *Allelopathy Journal*. 2014. Vol. 34. Pp. 277–286.

Liui D.L., An M., Wu H. Implementation of WESIA: Whole-range evaluation of the strength of inhibition in allelopathic-bioassay. *Allelopathy Journal*. 2007. Vol. 19 (1). Pp. 203–213.

Marrone P.G. The role of industrial biotechnology in sustainable agriculture. *Industrial Biotechnology*. 2020. Vol. 16 (4). Pp. 211–212. DOI: 10.1089/ind.2020.29221.pma

Matos F.S., Furtado B.N., dos Santos M.R. et al. Biorational agriculture: Herbicidal activity of sorghum extract in control of *Cyperus rotundus* L. *Magistra*. 2021. Vol. 31. Pp. 675–682.

Molisch H. Der Einfluss einer Pflanze auf die andere Allelopathie. Jena, 1937.

Nagabushana G.G., Worsham A.D., Yenish J.P. Allelopathic cover crops to reduce herbicide use in sustainable agricultural systems. *Allelopathy Journal*. 2001. Vol. 8 (2). Pp. 133–146.

Nicol D., Copaja S.V., Wratten S.D., Niemeyer H.M. A screening of world wide wheat cultivars for hydroxamic acid levels and aphid antixenosis. *Annals of Applied Biology*. 1992. Vol. 121. Pp. 11–18.

Narwal S.S. Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture. *Allelopathy Journal*. 2010. Vol. 25 (1). Pp. 51–72.

Nilsson M. Separation of allelopathy and resource competition by the boreal dwarf shrub *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. *Oecologia*. 2004. Vol. 98. Pp. 1–7.

Olofsdotter M. Rice – a step toward use of allelopathy. *Agronomy Journal*. 2001. Vol. 93. Pp. 3–8.

Pandey S.N., Rao P.B. Allelopathic effects of weed species extracts on some physiological parameters of wheat varieties. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2010. Vol. 15. Pp. 310–318.

Pearson D., Shintani M. Tokachi Millenium forest. Shimizu, 2021.

Quasem J.R. A new technology separating allelopathy from competition in pot experiments. *Int. J. of Agr. Sci. and Food Tec*. 2017. Vol. 3 (1). Pp. 19–25.

Reigosa M.J., Gonsalez L., Sanches-Moreiras A. et al. Comparison of physiological effects of allelochemicals and commercial herbicides. *Allelopathy Journal*. 2001. Vol. 8 (2). Pp. 211–220.

Saha D., Marble S.C., Pearson B.J. Allelopathic effect of common landscape and nursery mulch materials on weed control. *Front. Plant Sci*. 2018. DOI: 10.3380/fpls.2018.00733

Sera B., Kobes M. How the management may affect dispersal of slender speedwell (*Veronica filiformis* Smith) in meadows and pastures. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*. 2016. Vol. 24. Pp. 32–40. DOI: 10.1515/aeuc-2016-0010

Shrestha S., Sharma G., Burgos N.R., T-H Tseng. Competetive ability of weedy rice: Toward breeding weed-supressive rice cultivars. *Journal of Crop Improvement*. 2020. Vol. 34. Pp. 455–469. DOI: 10.21162/PAKJAS/18.5059

Singh A.K., Kumar R., Parthore N. et al. Allelopathy: It's interface in tree-crop assotiation. *Hort Flora Research Spectrum*. 2012. Vol. 1 (2). Pp. 97–102.

Scognamiglio M., Schneider B. Identification of potential allelochemicals from donor plants and their synergistic effects on the metabolom of *Aegilops geniculate*. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 1. Art. 1046. DOI: 10.3389/fpls.2020.101046

Shekoofa A., Saphikhan S., Raper T.B., Butler S. Allelopathic impacts of cover species and timing on cotton germination and seedlings growth. *Agronomy*. 2020. Vol. 10 (5). No. 638. Pp. 1–9. DOI: 10.3390/agronomy 10050638

Shirashi S., Watanabe I., Kuno K., Fujii Y. Allelopathic activity of leaching from dry leaves and exudates from roots of groundcover plants assayed on agar. *Weed Biol. Manage*. 2002. Vol. 2. Pp. 133–142. DOI: 10.1046/j.1445-6664.2002.00063.x

Soltys D., Krasaska U., Bogatek R., Gniasdovska A. Allelochemicals as bioherbicides – present and perspectives. *Herbicides – current research and case studies in use*. 2013. Vol. 20. A. Price, J.A. Kelton (eds.). Pp. 517–542. DOI: 10.5772/56185

Suzuki S., Kimura M., Yasuda R. et al. Strong allelopathic activities of leaves and cultured cells of *Spiraea thunbergia* assayed by the protoplast co-culture method with digital image analysis: Evaluation of *cis*- and *trans*-cinnamic acid as allelochemicals. *American Journal of Plant Sciences*. 2021. Vol. 12. Pp. 1673–1690. DOI: 10.4236/ajps.2021.1211117

Thompson P. A self-sustaining garden: A gardener's guide to matrix planting. Timber Press, 2007.

Urbano B., Gonzalez A.F., Ballesteros A. Allelopathic potential of cover crops to control weeds in barley. *Allelopathy Journal*. 2006. Vol. 17 (1). Pp. 63–64.

Webber III C.L., Shrefler J.W., Brandenberger L.P. Organic weed control. *Herbicides*: *Environmental Impact Studies and Management Approach*. 2012. Pp. 185–198. DOI: 10.5772/32539

Wu R., Wu B., Cheng H. et al. Drough enchanced the allelopathy of goldenrod on the seed germination and seedling growth perfomance of lettuce. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2020. Vol. 30 (1). Pp. 423–432. DOI: 10.15244/pjoes/122691

Weston L.A., Eom S.H. Utilization of stress tolerant, weed suppressive groundcovers for low maintenance landscape settings. *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*. R.S. Zeng, A.U. Mallik, S.M. Luo (eds.). New York, 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-77337-7_18

Wu H.W., Haig T., Pratley J. et al. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Production and exudation of 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazin-3-one. *Journal of Chemical Ecology*. 2001. Vol. 27. Pp. 1691–1700.

Wang H.Q., Wu Z.B., Zhang S.H. et al. Relationship between the allelopathic activity and molecular structure of hydroxyl derivatives of benzoic acid and their effects on cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Allelopathy Journal*. 2008. Vol. 22 (1). Pp. 205–212.

Zhang Q., Li L., Li J. et al. Increasing rice allelopathy by induction of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) root exudates. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2018. Vol. 37. Pp. 745–754. DOI: 10.1007/s00344-017-9770-y

Zhang Z., Liu Y., Weber E. et al. Effect of allelopathy on plant performance: A meta-analysis. *Ecol. Let*. 2020. Vol. 24 (2). Pp. 348–362. DOI: 10.1101/2020.05.14.095190

Статья поступила в редакцию 15.12.2021, принята к публикации 10.02.2022
The article was received on 15.12.2021, accepted for publication 10.02.2022

Сведения об авторах / About the authors

Черняева Екатерина Вадимовна – кандидат биологических наук; доцент кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет,

Ekaterina V. Chernyaeva – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Botany of the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russian Federation

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2998-9751
E-mail: ev.chernyaeva@mpgu.su

Викторов Владимир Павлович – доктор биологических наук, профессор; заведующий кафедрой ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

Vladimir P. Viktorov – Dr. Biol. Hab.; Head at the Department of Botany of the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russian Federation

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4100-6578
E-mail: vpviktorov@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Е.В. Черняева – анализ данных, написание текста статьи

В.П. Викторов – редактирование текста статьи

Contribution of the authors

E.V. Chernyaeva – data analysis, writing the text of the article

V.P. Viktorov – editing the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript

Издание подготовили к печати: редактор *А. А. Козаренко*, корректор *А. А. Алексеева*, обложка, макет, компьютерная верстка *Н. А. Попова*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2022. Т. 12. № 2

Сайт журнала: soc-ecol.ru
E-mail: izdat_mgopu@mail.ru

Авторы статей несут полную ответственность за точность приводимой информации, цитат, ссылок и списка литературы.

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, невозможна без письменного разрешения редакции.

Подписано в печать 29.06.2022 г.
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Liberation Serif».
Объем 7,125 п. л. Тираж 1000 экз.