

УДК 55:57:58:59:61:91
ISSN 2500-2961

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2019. Т. 9. № 2

**Природа и человек:
экологические исследования**

**Учредитель
и издатель:**

Московский
педагогический
государственный
университет

ПИ № ФС 77–67765
от 17.11.2016 г.

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

Сайт:

www.soc-ecol.ru

E-mail:

izdat_mgopu@mail.ru

Издается с 2011 г.

Выходит 4 раза в год

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

Биологические науки

03.02.01 – Ботаника

03.02.07 – Генетика

03.02.08 – Экология

03.02.13 – Почвоведение

03.02.14 – Биологические ресурсы

03.03.01 – Физиология

03.03.06 – Нейробиология

Науки о Земле

25.00.23 – Физическая география

и биогеография, география почв

и геохимия ландшафтов

25.00.36 – Геоэкология

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

ISSN 2500-2961

ENVIRONMENT AND HUMAN:
ECOLOGICAL STUDIES

2019. Vol. 9. № 2

**Socialno-ecologicheskie
Technologii**

**THE FOUNDER
AND PUBLISHER:**
Moscow Pedagogical
State University

It 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 recommends to PhD candidates and those working for their habilitation who wish to publish the results of their research

Mass media
registration
certificate

ПИ № ФС 77–67765
as of 17.11.2016

The journal has been published since 2011

The journal is published 4 times a year

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

E-mail: izdat_mgopu@mail.ru
Information on journal can be
accessed via: www.soc-ecol.ru

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

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

Сурхай Рахим оглы Аллахвердиев – доктор биологических наук, профессор; профессор кафедры лесной индустрии лесного факультета, Барынский государственный университет, Турция

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 Викторov – 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 лабораторией агроэкологии и землеустройства, 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

Наталья 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 экологии 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 – кандидат 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. Макавеева 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 Яшичев – 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, 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

Surhai R. Allahverdiev – professor at the Forestry Department, Bartin University, Turkey

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 Agroecology and Land Management Laboratory, 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, Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin, 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

А.А. Ганина, Ю.К. Виноградова

Варьирование морфологических признаков
Adenocaulon adhaerescens (Asteraceae)
во вторичном ареале. 131

Т.Д. Ноздрина, Е.В. Соломонова, Н.А. Трусов

Нетрадиционные для Московского региона
виды шиповников: морфометрические
и весовые характеристики циннародиев 145

Б.В. Прошкин, А.В. Климов

Изменчивость количественных и качественных признаков
Populus × sibirica G.V. Krylov & G.V. Grig.
ex А.К. Skvortsov. 162

ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УРБООКОЛОГИЯ

Р.Ф. Гарипова, А.Е. Столбовских

Определение валидности метода биотестирования
факторов окружающей среды в экспериментах
с применением биопрепаратов и природного цеолита 176

*Ф.А. Маслов, Е.И. Курченко, И.М. Ермакова,
Н.С. Сугоркина, В.Г. Петросян*

Особенности динамики жизненных форм
травянистых растений луговых сообществ
национального парка «Угра» при разных условиях
антропогенного воздействия на основе данных
многолетнего мониторинга 201

И.Н. Спиридонова, С.П. Ломов

Погребенные почвы средней части
Маклашеевского II городища
(Среднее Поволжье). 228

А.Г. Шепелев

Эмиссия углекислого газа и азотминерализующая
составляющая чернозема выщелоченного
в лесостепи Приобья, Западная Сибирь 240

Contents

STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

A. Ganina, Yu. Vinogradova

Variability of morphological characters
of *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae)
in a secondary distribution range 131

T.D. Nozdrina, E.V. Solomonova, N.A. Trusov

Non-traditional for Moscow region
rosehips species: Morphometric and gravimetric characteristics
of cinarrodies 145

B.V. Proshkin, A.V. Klimov

Variability of quantitative and qualitative characteristics
of *Populus* × *sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig.
ex A.K. Skvortsov. 162

ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS AND URBAN ECOLOGY

R.F. Garipova, A.E. Stolpovsky

Determination of validity of the biotesting method
of environmental factors in experiments
with the use of biological preparation on the basis
of *Bacillus subtilis* and natural zeolite 176

*F.A. Maslov, E.I. Kurchenko, I.M. Ermakova,
N.S. Sugorkina, V.G. Petrosyan*

Features of the dynamics of the herbal plants life forms
of the meadow communities of the Ugra National Park
at the different conditions of anthropogenic impact on the basis
of permanent monitoring 201

I.N. Spiridonova, S.P. Lomov

Buried soils of the middle part Miklashevsky II settlement
(Middle Volga region) 228

A.G. Shepelev

Carbon dioxide emission and nitrogen mineralizing component
of chernozem leached in the forest-steppe
of Priobie, Western Siberia 240

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-131-144

А.А. Ганина, Ю.К. Виноградова

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук,
127276 г. Москва, Российская Федерация

Варьирование морфологических признаков *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae) во вторичном ареале

Для контроля расселения инвазионных видов и сокращения ущерба от внедрения нежелательных растений в естественные фитоценозы нужно, в первую очередь, проводить инвентаризацию чужеродной фракции флоры и исследовать биоморфологические особенности чужеродных растений. Цель исследования – определение численности спонтанных популяций и выявление биологических особенностей активно расселяющегося в Москве *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae). Задачи работы – составление карт расселения *A. adhaerescens* в Главном ботаническом саду РАН и Щукинском лесопарке (Москва), выявление амплитуды изменчивости генеративных органов растений и определение их семенной продуктивности с целью прогнозирования дальнейшего расширения ареала вида. Маршрутным методом выявляли численность генеративных особей *A. adhaerescens* в обоих локалитетах. Морфологические признаки исследовали с помощью цифрового электронного микроскопа KEYENCE VHX-1000. Общее число генеративных растений составило 5891 шт. на территории Главного ботанического сада РАН и до 1500 шт. в Щукинском лесопарке. Ежегодно в Главном ботаническом саду РАН формируется 1,5 млн семян, в Щукинском лесопарке – 127 тыс. семян. Учитывая морфологические особенности семян, обладающих железистыми трихомами, которые способны прилепиться к животным и человеку, не исключена возможность быстрого расселения этого чужеродного вида семенным способом. Это дает



основание отнести этот вид к потенциально инвазионным растениям и принять меры контроля его численности.

Ключевые слова: *Adenocaulon*, инвазии, чужеродный вид, пыльца, семенная продуктивность.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Ганина А.А., Виноградова Ю.К. Варьирование морфологических признаков *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae) во вторичном ареале // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 131–144. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-131-144.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-131-144

A. Ganina, Yu. Vinogradova

Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences,
Moscow, 127276, Russian Federation

Variability of morphological characters of *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae) in a secondary distribution range

To control the dispersal of invasive species and reduce the damage from the introduction of undesirable plants into the natural plant communities, it is necessary, first of all, to conduct an inventory of the alien flora fraction and investigate the biomorphological features of alien plants. The purpose of the study is to determine the number of spontaneous populations and to identify the biological characteristics of *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae) that are actively settling in the Moscow. The goals of the work are mapping *A. adhaerescens* in the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences and Shchukinsky Forest Park (Moscow), identifying the amplitude of variability of the generative organs of the plants and determining their seed productivity in order to predict further expansion into the secondary distribution range. Using the route method we revealed the number of *A. adhaerescens* generative individuals in both localities. Morphological features were investigated using a KEYENCE VHX-1000 digital electronic microscope. The total number of generative

plants was 5891 in the territory of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, and up to 1500 plants in the Schukinsky forest park. Annually, 1.5 million seeds are formed in the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, and 127 thousand seeds – in the Shchukinsky Forest Park. Considering the morphological features of the seeds, which possess glandular trichomes, capable of clinging to animals and humans, the possibility of the rapid dispersal of this alien species by the seeds is not excluded. This gives grounds to attribute this species as a potentially invasive plant and take measures to control its numbers.

Key words: *Adenocaulon*, invasions, alien species, pollen, seed productivity.

CITATION: Ganina A.A., Vinogradova Yu.K. Variability of morphological characters of *Adenocaulon adhaerescens* (Asteraceae) in a secondary distribution range. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 131–144. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-131-144.

Введение

В настоящее время влияние чужеродных видов растений на естественные экосистемы стало особенно выраженным. Этому способствуют глобальное изменение климата и антропогенное воздействие [Vilà et al., 2006]. Во многих случаях чужеродные виды становятся инвазионными и вытесняют представителей местной флоры за счет своей большей конкурентоспособности, что в итоге приводит к обеднению флоры конкретного региона [Crawley et al., 1996]. Число инвазионных видов стремительно увеличивается, и, по прогнозам ботаников из разных стран, в ближайшем будущем влияние биологических инвазий на флористическое разнообразие возрастет еще больше [Sala et al., 2000; Ryšek et al., 2004; Hulme, 2007; Виноградова и др., 2010; Виноградова, 2012]. Для решения этой проблемы в глобальном масштабе необходимо проведение надежных региональных исследований [Miller et al., 2006, p. 109]. Некоторые биологические инвазии, которые в настоящее время угрожают Европе, могли бы быть пресечены, если бы в отдельных странах имелся высокий уровень понимания опасности инвазионных видов, а бездействие в этом вопросе может негативно сказаться на сохранении биоразнообразия и на экономике региона.

Для сокращения ущерба от нежелательных растений нужно, в первую очередь, исследовать их биоморфологические особенности. Подобные работы ведутся в Главном ботаническом саду (ГБС РАН) уже около 45 лет. В настоящей статье мы приведем данные по морфологии

и биологии чужеродного вида дальневосточного происхождения *Adenocaulon adhaerescens* Maxim., который активно расселяется по территории ГБС РАН и является единственным видом, который «ускользнул» из культуры и внедрил в антропогенно нарушенные территории Москвы вне границ сада [Храпко и др., 2013, с. 167].

A. adhaerescens (Прилипало пристающее) – многолетнее травянистое растение. Побеги прямостоячие с очередным листорасположением, высота растений второго года жизни – до 80 см. Побег имеет густое войлочное опушение и железистые волоски. Листья простые, черешковые, длиной 3–25 см, округло-треугольные, с тремя явно выраженными жилками. Верхушка листа острая, основание выемчатое, почковидное. Край листа зубчатый. Нижняя поверхность листа покрыта густым войлочным опушением. Лишь 5% растений способны цвести на первом году жизни, основная масса проростков зацветает на второй год жизни. Соцветия – корзинки, собранные в метелку. Цветение – июнь-октябрь. Цветки размером до 1 см белого цвета. Околоцветник актиноморфный, сростнолепестный. Число лепестков – 5. Плоды – семянки зеленого цвета, с железистыми трихомами. Трихомы имеют эпидермальное происхождение и состоят из одной или многих секреторных клеток головки и нежелезистых клеток ножки [Fahn, 1988].

Естественный ареал – Центральный и Восточный Китай, Тибет, Корея, горные леса Японии. В России – Приморье, Приамурье и остров Кунашир [Meyer, Walker, 1965, p. 1067; Ворошилов, 1966; Баркалов и др., 1992].

Интродуцирован в ГБС РАН в 1953 г. Через 30 лет за пределами экспозиции были отмечены отдельные особи. В настоящее время встречается массово вдоль дорожек по всему ботаническому саду, внедряется в естественные ценозы и формирует крупные (площадью до 5 м) локальные микропопуляции плотностью 50 растений/м². В 2005 г. вид проник в парк Останкино и на ВДНХ, которые граничат с ГБС, а в 2007 г. отмечен в лесопарке возле метро Щукинская. Размножается преимущественно семенным способом. Одно растение продуцирует около 1,5 тыс. семян. Незначительно разрастается и за счет вегетативного размножения, закладывая 1–2 зимующие почки [Майоров и др., 2013, с. 160].

Задача работы – выявить амплитуду изменчивости генеративных органов *A. adhaerescens* и определить его семенную продуктивность с целью прогнозирования дальнейшего расширения ареала вида.

Материалы и методы

Исследовали растения из инвазионной популяции ГБС РАН. Изучены следующие признаки генеративных органов: число цветков на генеративном побеге, размер пыльцевых зерен, размеры и численность семян. Произведен количественный учет растений второго года жизни на территории ГБС РАН и Щукинского лесопарка (Москва). Координаты в местах наличия микропопуляций фиксировали приемником GPS.

Для занесения атрибутов каждой точки популяции растений были условно разделены на группы. Критерии каждой группы приведены в табл. 1. Число точек, соответствующих группам учета, составило 795 штук на территории ГБС РАН и 11 точек в Щукинском лесопарке. Общая протяженность троп, пройденных для учета *Adenocaulon adhaerescens*, составила 35 км.

Таблица 1

Группы учета
[Accounting Groups]

Группа учета [Accounting Groups]	Критерии выделения группы [Group selection criteria]	Число популяций [Number of populations]
1	Единично встречающиеся экземпляры, не более 1–2 растения [Single occurrence, no more than 1–2 plants]	301
2	Малые группы растений числом 3–5 экз. [Small plant groups of 3–5]	214
3	Растения, равномерно встречающиеся вдоль тропы и/или с прерыванием (6–14 шт.) [Plants evenly occurring along the trail and/or with interruption (6–14 pcs.)]	118
4	Участки площадью 1–2 м ² (15–30 растений). В таких микропопуляциях встречаются растения высотой до 40–30 см [Plots with an area of 1–2 m ² (15–30 plants). Plants up to 40–30 cm high are found in such micro populations]	71
5	Участок площадью 3–6 м ² и более (свыше 30 растений). В этих микропопуляциях отмечены особи высотой до 60 см [A plot of 3–6 m ² or more (over 30 plants). In these micro populations, individuals up to 60 cm high were noted]	91
Итого [Total]		795

Изучение морфологических признаков проводили на цифровом микроскопе KEYENCE VHX-1000 с увеличением $\times 300$. Размеры пыльцы определяли с увеличением $\times 1500$. Объем выборки пыльцевых зерен – 30 шт.

Полученные данные были обработаны в программе SPSS Statistics. Для выявления связи между признаками генеративных органов проводили корреляционный анализ. Строили диаграммы рассеивания для переменных: длина и ширина семян.

Результаты и обсуждение

На территории ГБС РАН (площадью около 360 га) общее число растений второго года жизни составило 5891 шт. (рис. 1). Наиболее часто встречаются группы из единичных экземпляров – 301 микропопуляция растений. Наиболее опасные по расселению группы, насчитывающие наибольшее число растений, это группы 4 и 5 (1065 и 2275 экземпляров соответственно). Таким образом, в ГБС РАН число растений в генеративной фазе развития составило в среднем $0,0016/\text{м}^2$. Территориальное расположение групп представлено на рис. 2.

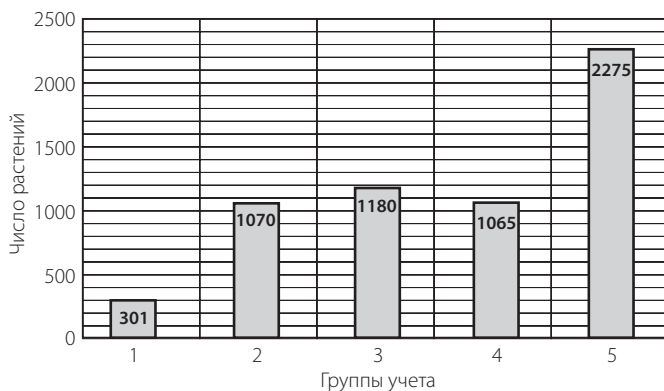


Рис. 1. Численность растений в генеративной фазе развития в ГБС РАН по группам учета

Fig. 1. The number of the generative plants in Main Botanical Garden of RAS (at the accounting groups)

Территории Щукинского лесопарка на северо-западе Москвы составляет 22 га и практически не имеет напочвенного покрова. Здесь выявлено 47 группировок *Adenocaulon adhaerescens* второго года жизни (табл. 2) общим числом до полутысячи растений. Расположение группировок отображено на тематической карте-схеме (рис. 3).

Таблица 2

**Численность растений в генеративной фазе развития
в Щукинском лесопарке**
[The number of the generative plants in the Shchukinsky forest park]

Группы учета [Groups of monitoring]	Число популяций [Number of populations]	Среднее число в популяции [The average number (of plants) in a population]	Итого [Total]
1	7	1	7
2	2	5	10
3	–	10	–
4	2	15	30
5	–	25	–
Общий итог [The overall result]	11	–	47

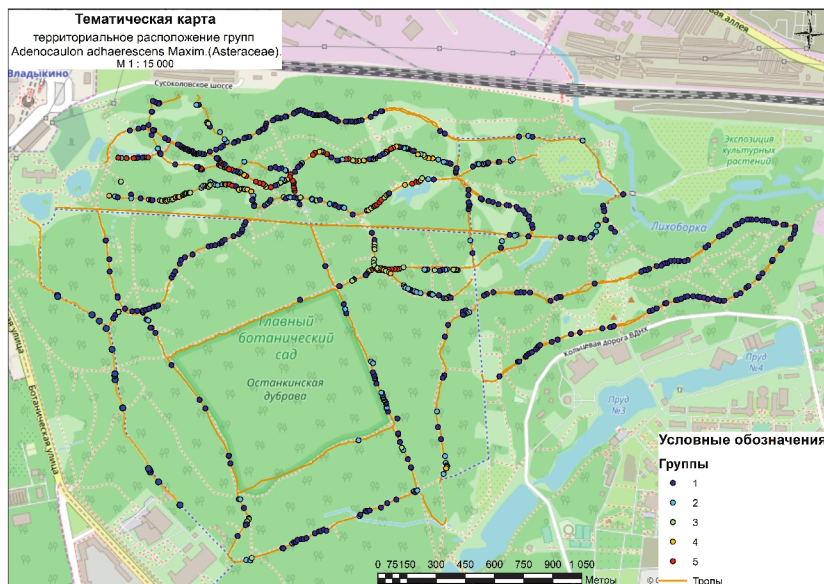


Рис. 2. Территориальное расположение групп *Adenocaulon adhaerescens* в ГБС РАН

Fig. 2. The location of *Adenocaulon adhaerescens* groups in the Main Botanical Garden of RAS

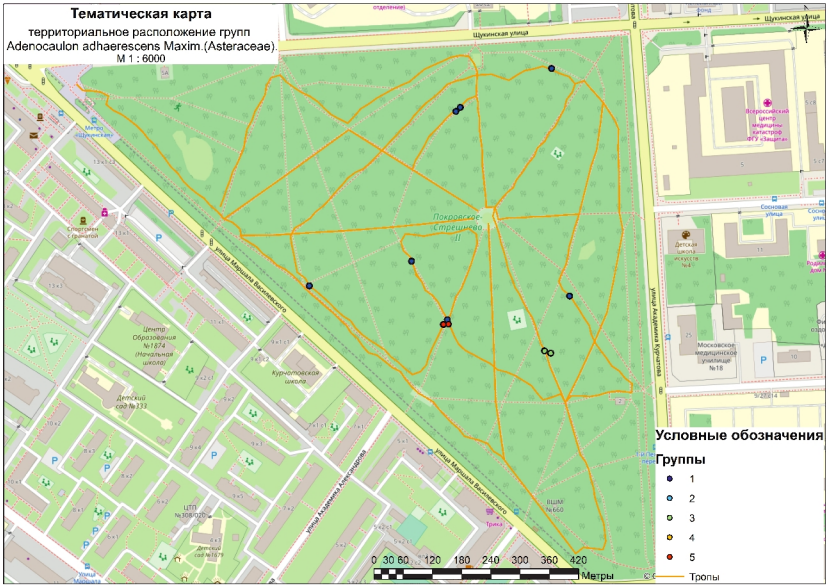


Рис. 3. Территориальное расположение групп *Adenocaulon adhaerescens*, Щукинский лесопарк

Fig. 3. The location of *Adenocaulon adhaerescens* groups in the Schukinsky Forest Park

На одном растении формируется около 25–30 корзинок, каждая из них содержит 6–8 цветков (рис. 4).



Рис. 4. Корзинка и цветок *Adenocaulon Adhaerescens*

Fig. 4. Head and flowers of *Adenocaulon adhaerescens*

Пыльцевые зерна *Adenocaulon adhaerescens* не деформированные, жизнеспособные, имеют среднюю длину полярной оси $0,033 \pm 0,004$ мм и средний экваториальный диаметр $0,021 \pm 0,003$ мм (рис. 5, 6). Выявлена слабая отрицательная взаимосвязь между этими параметрами на высоком уровне значимости: $r = 0,038$ при $p < 0,01$. Диаграмма рассеивания пыльцевых зерен демонстрирует отсутствие корреляции данных параметров (рис. 7).



Рис. 5. Пыльцевые зерна (увеличение $\times 1000$)

Fig. 5. Pollen grains ($\times 1000$)



Рис. 6. Пыльцевое зерно (увеличение $\times 2500$)

Fig. 6. Pollen grain ($\times 2500$)

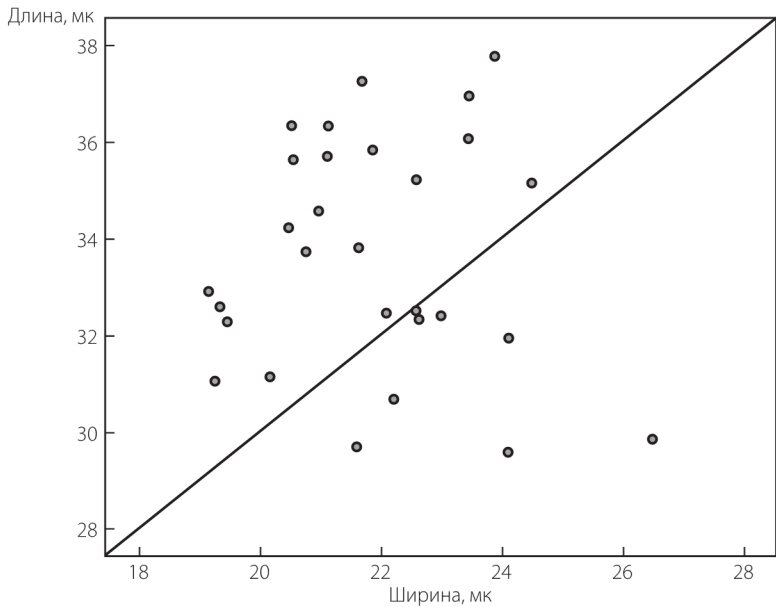


Рис. 7. Диаграмма рассеивания размеров пыльцевых зерен

Fig. 7. The size of the pollen grains

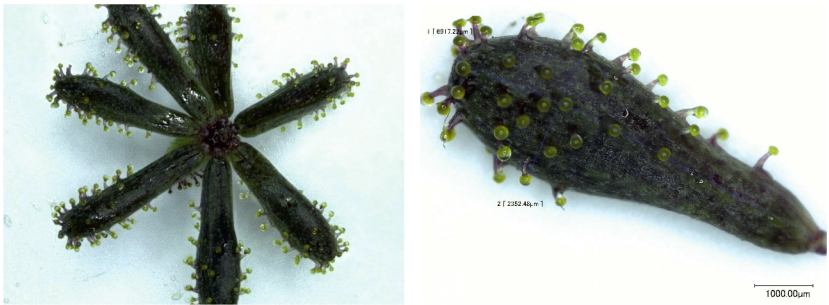


Рис. 8. Семянки *Adenocaulon adhaerescens*

Fig. 8. Seeds of *Adenocaulon adhaerescens*

В каждой корзинке формируется 5–7 семянков (рис. 8). Статистически среднее значение их длины составляет $6,75 \pm 0,093$ мм, ширины – $2,54 \pm 0,040$ мм. Выявлена высокая положительная связь длины и ширины семени на высоком уровне значимости: $r = 0,813$ при $p < 0,01$ (рис. 9).

Характер связи между переменными является линейной, т.е. совокупность выборки расположена ближе к средней линии.

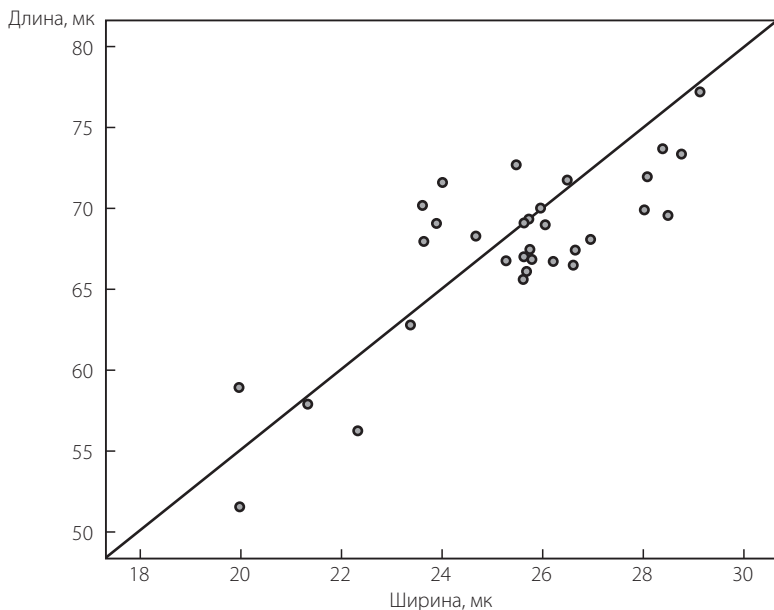


Рис. 9. Диаграмма рассеивания размеров семян

Fig. 9. The size of the seeds of *Adenocaulon adhaerescens*

Произведенные подсчеты показали: в корзинке содержится от 5 до 7 семян, на одном растении формируется около 25–30 корзиночек, что составляет порядка 250 семян на одном растении. Следовательно, за вегетационный сезон популяция *Adenocaulon adhaerescens* в ГБС РАН формирует семенной банк объемом около 1,5 млн семян, а в Щукинском лесопарке – около 127 тыс. семян.

Заключение

Семенная продуктивность *A. adhaerescens*, в сравнении с другими видами семейства Asteraceae, невысока (250 семян/растение). Однако, учитывая морфологические особенности семян, обладающих железистыми трихомами, которые способны прилепляться к животным и человеку, не исключена возможность быстрого расселения этого чужеродного вида семенным способом.

Поэтому представляется необходимым контролировать численность *Adenocaulon adhaerescens* в обоих местообитаниях Москвы для замедления расширения его вторичного ареала.

Библиографический список / References

Баркалов В.Ю., Коробков А.А., Цвелев Н.Н. Asteraceae Dumort (Compositae Giseke) // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. СПб., 1992. Т. 6. С. 9–427. [Barkalov V.Yu., Korobkov A.A., Tsvelev N.N. Asteraceae Dumort (Compositae Giseke). *Sosudistyie rasteniya sovetskogo Dalnego Vostoka*. St. Petersburg, 1992. Vol. 6. Pp. 9–427.]

Виноградова Ю.К. Модусы микроэволюции при формировании вторичного ареала (на примере *Adenocaulon adhaerescens* Maxim.) // Материалы XII Московского совещания по филогении растений, посвященное 250-летию со дня рождения Г.Ф. Гофмана. М., 2010. С. 110–114. [Vinogradova Yu.K. Microevolution modes while formation of a secondary distribution range (exemplified by *Adenocaulon adhaerescens* Maxim., Asteraceae). *Materialy XII Moskovskogo soveshchaniya po filogenii rasteniy, posvyashchennoe 250-letiyu so dnya rozhdeniya G.F. Gofmana*. Moscow, 2010. Pp. 110–114.]

Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М., 2010. [Vinogradova Y.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Sredney Rossii (Chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii)* [The Black-book of the flora of the Middle Russia (Alien species in the plant communities of the Middle Russia)]. Moscow, 2010.]

Виноградова Ю.К. Очередные задачи инвазионной биологии // Проблемы изучения адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья: Материалы IV Международной научной конференции (Ижевск, 4–7 декабря 2012 г.). Ижевск, 2012. С. 56–59. [Vinogradova Yu.K. The next tasks of invasive biology. *Problemy izucheniya adventivnoy i sinantropnoy flor Rossii i stran blizhnego zarubezhya: Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Izhevsk, 4–7 dekabrya 2012 g.)*. Izhevsk, 2012. Pp. 56–59.]

Ворошилов В.Н. Флора Советского Дальнего Востока. М., 1966. [Voroshilov V.N. *Flora Sovetskogo Dalnego Vostoka* [Flora of the Soviet Far East]. Moscow, 1966.]

Майоров С.Р., Виноградова Ю.К., Бочкин В.Д. Иллюстрированный каталог растений, дичающих в ботанических садах Москвы. М., 2013. [Mayorov S.R., Vinogradova Y.K., Bochkin V.D. *Ilyustrirovannyy katalog rasteniy, dichayushchikh v botanicheskikh sadakh Moskvy* [An illustrated catalogue of plants, escaping from cultivation in botanical gardens of Moscow, Russia]. Moscow, 2013.]

Рыхликова А.А., Виноградова Ю.К. Начальная стадия процесса инвазии *Adenocaulon adhaerescens* // Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья: состояние и перспективы. Ижевск, 2006. С. 89–91. [Ryhlkova A.A., Vinogradova Y.K. The initial stage of the invasion of *Adenocaulon adhaerescens*. *Adventivnaya i sinantropnaya flora Rossii i stran blizhnego zarubezhya: sostoyanie i perspektivy*. Izhevsk, 2006. Pp. 89–91.]

Храпко О.В., Беркутенко А.Н., Виноградова Ю.К. Биология *Adenocaulon adhaerescens* Maxim // Биология и экология растений российского Дальнего

Востока / Отв. ред. Храпко О.В. Уссурийск, 2013. С. 99–106. [Khrapko O.V., Berkutenko A.N., Vinogradova Yu.K. Biology of *Adenocaulon adhaerescens* Maxim.) *Biologiya i ekologiya rasteniy rossyskogo Dalnego Vostoka*. Khrapko O.V. (ed.). Ussuriysk, 2013. Pp. 99–106.]

Crawley M.J., Harvey P.H., Purvis A. Comparative Ecology of the Native and Alien Floras of the British Isles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*. 1996. Vol. 351. Issue 1345.

Fahn A. Secretory tissues in vascular plants. *New Phytologist*. 1988. Vol. 108. Pp. 229–257.

Hulme Ph.E. Biological invasions in Europe: Drivers, pressures, states, impacts and responses. *Biodiversity under threat*. R.M. Harrison, R.E. Hester (eds.). Cambridge, 2007. Pp. 56–80.

Meyer F.G., Walker E.H. Flora of Japan. J. Ohwi (ed.). Tokio, 1965.

Miller C., Kettunen M., Shine C. Scope options for EU action on invasive alien species (IAS). Final report for the European Commission. Brussels, 2006.

Pyšek P., Richardson D.M., Rejmánek M., Webster G.L., Williamson M., Kirschner J. Alien plant in checklist and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*. 2004. Vol. 53. № 1. Pp. 131–143.

Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., LeRoy P.N., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M., Wall D.H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 2000. Vol. 287. № 5459. Pp. 1770–1774.

Vilà M., Tessier M., Suehs C.M., Brundu G., Carta L., Galanidis A., Lambdon P., Manca M., Medail F., Moragues E., Traveset A., Troumbis A.Y., Hulme Ph.E. Local and regional assessment of the impacts of plant invaders on vegetation structure and soil properties of Mediterranean islands. *Journal of Biogeography*. 2006. Vol. 33. № 5. Pp. 853–861. DOI: 10.1111/j.1365–2699.2005.01430.x

Vinogradova Yu.K. Experiments on reduction of abundance of invasive species (*Impatiens glandulifera*, *Solidago gigantea*, *Adenocaulon adhaerescens*). *Bridging the gap between scientific knowledge and management practice. 11th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions. Szombathely, Hungary*. 2011. Pp. 111.

Vinogradova Yu.K. The biology of *Adenocaulon adhaerescens* in initial invasive population. *Biological invasions in a changing world from science to management. Neobiota 2010. Copenhagen, 14–17 September 2010*. Book of abstracts. Pp. 184.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019, принята к публикации 18.04.2019

The article was received on 18.03.2019, accepted for publication 18.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Ганина Анастасия Анатольевна – аспирант направления подготовки «Биологические науки», Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, г. Москва

Anastasia A. Ganina – post graduate student, Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences, Moscow

ORCID: 0000-0002-9712-5330

E-mail: gbsad@mail.ru

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

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

ORCID: 0000-0003-4891-4904

Заявленный вклад авторов

А.А. Ганина – проведение полевых экспериментов, анализ первичных данных, участие в подготовке текста статьи

Ю.К. Виноградова – общее руководство направлением исследования, организация и участие в проведении полевых и лабораторных экспериментов, анализ первичных данных, участие в подготовке текста статьи

Contribution of the authors

A.A. Ganina – conducting field experiments, analysis of primary data, participation in the preparation of the text of the article

Yu.K. Vinogradova – general direction of research, organization and participation in field and laboratory experiments, analysis of primary data, participation in the preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-145-161

Т.Д. Ноздрина¹, Е.В. Соломонова¹, Н.А. Трусов²

¹ Московский государственный университет пищевых производств,
125080 г. Москва, Российская Федерация

² Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН,
127276 г. Москва, Российская Федерация

Нетрадиционные для Московского региона виды шиповников: морфометрические и весовые характеристики циннородиев

В связи с государственной политикой импортозамещения и витаминизации продуктов питания, в Российской Федерации актуальны поиск, изучение и внедрение в пищевую индустрию новых видов отечественного нетрадиционного растительного сырья. Цель исследования – сравнительный анализ размерно-весовых характеристик циннородиев (плодов) шиповников (*Rosa* L.), проходящих интродукционные испытания в дендрарии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН, для выяснения возможностей и преимуществ их промышленного и бытового применения. Объекты изучения – зрелые плоды интродуцированных шиповников, обильно плодоносящих и долго сохраняющих плоды на растениях в условиях Московского региона: *R. amblyotis* С.А. Mey (шиповник тупоушковый), *R. maximowicziana* Regel (шиповник Максимовича) и *R. oxyodon* Boiss (шиповник острозубый). Определение длины, диаметра, массы циннородиев, содержания в них абсолютно-сухих веществ, а также статистическая обработка результатов исследований выполнены по стандартным методикам. Достоверность межвидовых различий анализируемых признаков установлена по критериям Стьюдента и Фишера. Выявлено превосходство наиболее вариabельных свежих и воздушно-сухих циннородиев *R. oxyodon* по длине, диаметру и массе (2,02 × 1,18 см и 1,08 г, соответственно) по сравнению с самыми мелкими и наименее изменчивыми (плодами) *R. maximowicziana* (0,86 × 0,90 см и 0,34 г), а также промежуточными по данным признакам плодами *R. amblyotis*



(1,06 × 1,22 см и 0,74 г). Однако плоды *Rosa amblyotis*, содержащие повышенный процент абсолютно-сухого вещества (94%), оказались не менее перспективными, чем более крупные из-за значительной оводненности цинарродиев *R. oxyodon* (90%). Для окончательного установления промышленной значимости плодов исследованных шиповников недостаточно предпринятого нами их размерно-весового изучения; требуется дальнейший биохимический анализ.

Ключевые слова: шиповник тупошковый, шиповник Максимовича, шиповник острозубый, *Rosa amblyotis*, *Rosa maximowicziana*, *Rosa oxyodon*, гипантий, цинарродий.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Ноздрин Т.Д., Соломонова Е.В., Трусов Н.А. Нетрадиционные для Московского региона виды шиповников: морфометрические и весовые характеристики цинарродиев // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 145–161. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-145-161.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-145-161

T.D. Nozdrina¹, E.V. Solomonova¹, N.A. Trusov²

¹ Moscow State University of Food Production,
Moscow, 125080, Russian Federation

² Tsytin Main Botanical Garden, Russian Academy of Science,
Moscow, 127276, Russian Federation

Non-traditional for Moscow region rosehips species: Morphometric and gravimetric characteristics of cinarrodies

In connection with the state policy of import substitution and fortification of food products, in the Russian Federation, the search, study and introduction of new types of domestic non-traditional plant materials into the food industry are relevant. The purpose of the study is comparative analysis of the size and weight characteristics of cynarodies (fruits) of rosehips undergoing introduction tests in the arboretum of the Tsytin Main Botanical Garden of Russian Academy

of Sciences, to find out the possibilities and advantages of their industrial and domestic use. The objects of the study are mature infructescences of hips growing abundantly in the conditions of Moscow region: *Rosa amblyotis* C.A. Mey, *R. maximowicziana* Regel and *R. oxyodon* Boiss. The determination of the length, diameter, weight of cynarrodies, the content of absolutely dry substances in them, as well as the statistical processing of the research results were carried out according to standard methods. The reliability of interspecies differences of analyzed traits were established according to criteria of Student and Fisher. The superiority of the most variable fresh and air-dried cynarrodies of *R. oxyodon* in length, diameter and weight (2.02×1.18 cm and 1.08 g, respectively) was revealed, compared to the smallest and least changeable infructescences of *R. maximowicziana* (0.86×0.90 cm and 0.34 g), as well as of *R. amblyotis* fruits which are intermediate in terms of these characteristics (1.06×1.22 cm and 0.74 g). However, infructescences of *R. amblyotis*, containing an increased percentage of absolutely dry substance (94%), turned out to be no less promising than larger ones due to the significant water content of *R. oxyodon* cynarrodies (90%). For final determination of industrial significance of investigated rosehips infructescences, the size and weight study we have undertaken is not enough; further biochemical analysis is required.

Key words: rosehips, *Rosa amblyotis*, *Rosa maximowicziana*, *Rosa oxyodon*, hypanthium, cinarrody.

CITATION: Nozdrina T.D., Solomonova E.V., Trusov N.A. Non-traditional for Moscow region rosehips species: Morphometric and gravimetric characteristics of cinarrodies. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 145–161. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-145-161.

Шиповник (*Rosa spp.*) является природным источником витамина С, значимым для отраслей пищевой, медицинской и косметической промышленности. В связи с политикой импортозамещения, проводимой в России, актуально расширение ассортимента витаминизированного сырья [Государственная программа..., 2012; Постановление Правительства..., 2014]. Одним из приоритетных векторов развития является поиск новых перспективных высоковитаминных видов шиповника для последующей культивации в промышленных масштабах в РФ. Ценность растения заключается в достаточной простоте выращивания (в связи с высокой зимостойкостью), переработки, транспортировки и хранения продукции, сочетающихся с хорошей сохранностью полезных свойств.

Ложные сочные плоды шиповников являются многоорешками и имеют специальное название – цинарродии. В их гипантии, т.е. образованной основаниями сросшихся чашелистиков, лепестков и тычинок разросшейся цветочной трубке, находятся настоящие плоды – односеменные орешки. Цинарродии шиповников являются источником большого числа витаминов: В₂ (рибофлавина), Р, Е, К, провитамина А (каротина), яблочной, лимонной и, особенно, аскорбиновой кислот, а также солей кальция, калия, железа, магния, фосфора, фитонцидов, сахаров. Многочисленные сведения о химическом составе целых плодов и гипантиев шиповников разноречивы. К сожалению, в литературных источниках не всегда указываются вид, географическое место и условия произрастания растений, возраст побегов, годовые метеорологических условия, время сбора сырья, наличие в нем семян, способ фиксации и методики анализа материала, что затрудняет сравнительную биохимическую оценку плодов шиповников. Несмотря на значительный разброс данных, цинарродии шиповников выделяются среди плодово-ягодных растений рекордным количеством витамина С (900–19 000 мг%) [Игнатъев, 1946; Розанова, 1946; Шнякина, Малыгина, 1975; Новрузов, 2014]. Ведется поиск наиболее эффективных витаминосохраняющих и безотходных технологий переработки сырья из плодов шиповников, с максимальным выходом гидрофильных и липофильных биологически активных соединений в конечные продукты [Ламан, Копылова, 2017; Erenturk, Gulaboglu, Gultekin, 2005; Pirone, Ochoa, Kessler, De Michelis, 2007; Angelov, Boyadzhieva, Georgieva, 2014].

Шиповник реализуется в виде сухих и переработанных форм (плодов, сборов, чаев), а также поливитаминных лекарственных средств – таблеток, сиропов, микстур, витаминных экстрактов [Государственная фармакопея..., 1990]. Весь ассортимент товаров, имеющих в своем составе сырье из шиповника, является наиболее дешевым среди прочих фармацевтических средств с аналогичным механизмом действия. В народной медицине шиповник используется для приготовления отваров, настоев, чаев и т.п. Плоды шиповника широко применяются в пищевой промышленности для приготовления варенья, мармелада, конфет и разнообразных напитков [Михайлов, 2014].

На территории Евразии существуют промышленные плантации шиповников. Успешно культивируется шиповник морщинистый (*Rosa rugosa* Thunb.) – витаминный вид с самыми крупными плодами. Общая площадь его посадок во времена СССР в совхозах Башкирии, Челябинской области, Литвы, Марийской АССР и Подмосковья составляла несколько тысяч гектаров. Для создания плантаций широко используется

шиповник майский (*Rosa majalis* Herrm.). По сравнению с шиповником морщинистым его плоды мельче, но значительно богаче по содержанию витаминов С и Р. В качестве витаминного сырья в России и странах ближнего зарубежья применяются и другие виды шиповников: иглистый (*R. acicularis* Lindl.), даурский (*R. davurica* Pall.), рыхлый (*R. laxa* Retz.), Федченко (*R. fedtschenkoana* Regel), Альберта (*R. albertii* Regel), Беггера (*R. beggeriana* Schrenk ex Fisch. & C.A. Mey.) [Вермейлен, 2003].

В дендрарии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) проходят интродукционные испытания более 50 видов шиповников, некоторые из которых представляются весьма перспективными для Московского региона [Плотникова, 2005].

Целью исследования является сравнительный анализ морфометрических и весовых характеристик плодов (цинарродиев) нетрадиционных для средней полосы России видов шиповников из коллекции ГБС РАН, обильно плодоносящих и долго сохраняющих плоды на растениях, для выяснения возможностей и преимуществ их промышленного и бытового применения. Объектами исследований, на основании многолетних комплексных наблюдений сотрудников ботанического сада, выбраны три вида шиповника: *R. amblyotis* C.A. Mey (шиповник тупоушковый), *R. maximowicziana* Regel (шиповник Максимовича) и *R. oxyodon* Boiss (шиповник острозубый).

Достижение поставленной цели обеспечено решением задач:

- определение длин свежих цинарродиев;
- определение диаметров свежих цинарродиев;
- определение массы воздушно-сухих цинарродиев;
- определение содержания абсолютно-сухого вещества в воздушно-сухих цинарродиях;
- статистическая обработка полученных данных: вычисление средних арифметических значений, доверительных интервалов, коэффициентов вариации и показателей точности опытов;
- оценка статистической достоверности различий между размерно-весовыми параметрами плодов исследуемых шиповников.

Материалы и методы исследования

Шиповники тупоушковый, острозубый и Максимовича обильно плодоносят в условиях Московского региона и весьма устойчивы к местным климатическим условиям.

Шиповник тупоушковый (*R. amblyotis*) – прямостоячий кустарник, имеющий высоту 1,5–2,0 м. Распространен в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Стебли ветвятся в верхней части растения.

Листья сложные, тонкие, сверху тускло-зеленые, снизу бледнее, густо опушены. Плоды шаровидные или грушевидные, до 1,5 см в диаметре, оранжево-красные [Даников, 2013].

В плодах *Rosa amblyotis*, собранных в природных местообитаниях, содержится до 3250 мг% витамина С, витамин В2, флавоноиды, каротины и дубильные вещества [Государственная фармакопея..., 1990].

В дендрарии ГБС РАН высота растения достигает 3,8 м; растения обильно плодоносят; плоды созревают в середине августа, зимостойкость полная [Плотникова, 2005].

Шиповник Максимовича (*R. maximowicziana*) – листопадный кустарник, имеющий лазающие и ползучие стебли, достигающие в длину 5,0–6,0 м. Растет на территории Дальнего Востока и Восточной Азии. Листья сложные, листочки овальные или эллиптические, сверху голые и блестящие, снизу – матовые, голые или опушенные по средней жилке. Плоды шаровидной формы, до 1,2 см в диаметре, красные или ярко-оранжевые [Даников, 2013].

Кроме общих сведений по биохимии плодов шиповников, количественных данных по содержанию витаминов, флавоноидов, каротинов и других нутриентов в плодах *R. maximowicziana* в литературе не обнаружено.

В дендрарии ГБС РАН высота растения – 1,8 м; обильно плодоносит; зимостойкость полная [Плотникова, 2005].

Шиповник острозубый (*R. oxuodon*) – листопадный кустарник высотой 1,0–1,5 м. Эндемик Кавказа. Имеет многочисленные стебли, плотно прилегающие друг к другу. Листья сложные, листочки имеют овальную или эллиптическую форму. Плоды грушевидные, до 1 см в диаметре, насыщенно-красного цвета [Даников, 2013].

Содержание витамина С в плодах *R. oxuodon* в природных условиях – до 5130 мг%. Кроме того, имеются данные о содержании в них каротиноидов (18,8 мг%) и дубильных веществ (7,03 мг%) [Государственная фармакопея..., 1990].

В условиях дендрарии ГБС РАН растение достигает высоты 2,0 м; обильно плодоносит; зимостойкость полная [Плотникова, 2005].

Материал для исследования собран в дендрарии ГБС РАН осенью 2017 г. В среднем – по 100–120 плодов с 3-х экземпляров растений каждого вида. Морфометрические показатели свежих плодов (диаметр и длина) определяли при помощи штангенциркуля ШЦ-II-250-0,05 (цена деления – 0,1 мм). Массу плодов, высушенных при температуре 20–25 °С до воздушно-сухого состояния, устанавливали с помощью

весов Pocket Scale ML-A03 по стандартной методике [Ермаков, Арасимович, Ярош, 1987]. Повторность анализов 20-кратная. Для определения абсолютно-сухой массы воздушно-сухие плоды с удаленными чашелистиками измельчали в электрокофемолке «ЗММ». Сырье в фильтр-пакетах высушивали до постоянного веса в сушильном шкафу «ШСУ-М» при температуре 100–110 °С [Там же]. Повторность анализов 4-кратная.

Результаты обработаны методами вариационной статистики для малых выборок, в соответствии с рекомендацией сравнивать совокупности одновременно по их средним арифметическим (критерий Стьюдента) и по их вариабельности (критерий Фишера) при уровне значимости 0,05 [Зайцев, 1990; Статистика малых выборок..., 2013].

Результаты и их обсуждение

Несмотря на широкое пищевое и лекарственное применение плодов шиповников, в литературе содержится скудная разрозненная информация об их размерах и массе. При описании плодов, как правило, указываются лишь форма и максимальный диаметр, варьирующий от 0,9–1,2 см (*Rosa majalis* Herrn. – шиповник майский, *R. amblyotis*, *R. maximowicziana* и *R. oxodon*) до 3,0 см (*R. rugosa* Thunb. – шиповник морщинистый). Отсутствие либо усредненность и обезличенность данных (неизвестно, к какому виду шиповника относятся сведения) о длине плодов шиповников (0,7–3,5 см) сильно затрудняет их морфометрическую оценку, особенно детальную, видовую. Значительная масса свежих плодов, достигающих 4 г, отмечена лишь у сортовых растений (сорт Витаминный). Имеются сведения о превосходстве шиповников с низким содержанием витамина С в плодах, по сравнению с культивируемыми высоковитаминными видами, по массе воздушно-сухих цинарродиев (0,9–1,3 г у *R. canina* L. – шиповника собачьего и 0,3–0,5 г у *R. majalis*, соответственно) [Левина, 1987; Даников, 2013]. Содержание абсолютно-сухого вещества в плодах шиповников не изучалось. Статистического сравнения видовых различий размерно-весовых параметров цинарродиев не проводилось. Из вышесказанного вытекает необходимость предпринятой нами ревизии количественных характеристик плодов промышленно перспективных видов шиповников.

Полученные нами размерно-весовые данные о плодах трех исследованных видов шиповников, а также их сравнительный анализ представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Морфометрические параметры и весовые характеристики цинародиев шиповников
[Morphometric parameters and weight characteristics of rose hips cinarrodia]**

Параметр [Parameter]	Вид [Species]											
	<i>Rosa amblyotis</i>				<i>Rosa maximowicziana</i>				<i>Rosa oxyodon</i>			
	$M \pm m_M$	$V, \%$	$P, \%$	tm_M	$M \pm m_M$	$V, \%$	$P, \%$	tm_M	$M \pm m_M$	$V, \%$	$P, \%$	tm_M
Длина плодов, см [Fruit length, cm]	1,06 ± 0,04	16,16	5,11	0,12	0,86 ± 0,02	9,81	3,10	0,06	2,02 ± 0,07	15,27	4,83	0,22
Диаметр плодов, см [Fruit diameter, cm]	1,22 ± 0,03	10,79	3,41	0,09	0,90 ± 0,02	9,07	2,87	0,06	1,18 ± 0,04	15,88	5,02	0,13
Масса воздушно-сухого плода, г [Mass of air-dried fruit, g]	0,74 ± 0,03	17,19	3,84	0,60	0,34 ± 0,01	19,40	4,34	0,03	1,08 ± 0,07	30,65	6,85	0,16
Содержание абсолютно сухого вещества в воздушно-сухих плодах, % [The content of absolutely dry matter in air-dried fruits, %]	94,25 ± 0,25	0,80	0,27	0,80	87,00 ± 0,41	1,30	0,94	1,30	90,25 ± 1,03	2,28	1,14	3,28

При m и e – $M \pm tm_M$ – средняя арифметическая и ее ошибка, tm_M – доверительный интервал, V – коэффициент вариации, P – показатель точности для стандартного доверительного уровня 95% (точность опыта считается удовлетворительной при значениях показателя, не превышающих 5%). [N o t e: $M \pm tm_M$ is the arithmetic mean and its error; tm_M is the confidence interval, V is the coefficient of variation, P is the indicator of the accuracy of the experiment for a standard confidence level of 95% (the accuracy of the experiment is considered satisfactory for values of the indicator not exceeding 5%).]

Таблица 2

Оценка статистической достоверности различий между размерно-весовыми параметрами цинарродиев шиповников на 95%-м доверительном уровне
 [Assessment of the statistical significance of differences between the size and weight parameters of rose hips synarrodia at a 95% confidence level]

	Сравниваемые виды шиповников [Compare types of rose hips]					
	<i>Rosa amblyotís, R. maxímowicziana</i>	<i>Rosa amblyotís, R. oxyodon</i>	<i>Rosa maxímowicziana, R. oxyodon</i>			
Критерий Фишера [Fisher test]	Длина плодов, см [Fruit length, cm]					
	F	F _{табл}	F	F _{табл}	F	F _{табл}
	4,122	2,210	3,243	2,210	13,367	2,210
Оценка различий по вариабельности признака [Assessment of differences in the variability of the trait]	Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]	
	t	t _{табл}	t	t _{табл}	t	t _{табл}
Критерий Стьюдента [Student criterio]	4,684	2,048	2,931	2,042	3,914	2,074
	Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]	
Оценка различий по степени выраженности признака [Assessment of differences in the severity of the sign]	Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]	

Окончание табл. 2

		Сравниваемые виды шиповников [Compare types of rose hips]					
		<i>Rosa amblyotis</i> , <i>R. maximowicziana</i>		<i>Rosa amblyotis</i> , <i>R. oxiodon</i>		<i>Rosa maximowicziana</i> , <i>R. oxiodon</i>	
		Диаметр плодов, см [Fruit length, cm]					
		F	F _{табл}	F	F _{табл}	F	F _{табл}
Критерий Фишера [Fisher test]		2,601	2,210	2,026	2,210	5,269	2,210
Оценка различий по вариабельности признака [Assessment of differences in the variability of the trait]		Достоверно [Reliably]		Не достоверно [Not reliably]		Достоверно [Reliably]	
		t	t _{табл}	t	t _{табл}	t	t _{табл}
Критерий Стьюдента [Student criterion]		9,239	2,042	0,761	2,030	1,142	2,056
Оценка различий по степени выраженности признака [Assessment of differences in the severity of the sign]		Достоверно [Reliably]		Не достоверно [Not reliably]		Не достоверно [Not reliably]	
		Масса воздушно-сухих плодов [Mass of air-dried fruit]					
		F	F _{табл}	F	F _{табл}	F	F _{табл}
Критерий Фишера [Fisher test]		3,719	2,210	6,772	2,210	25,185	2,210
Оценка различий по вариабельности признака [Assessment of differences in the variability of the trait]		Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]		Достоверно [Reliably]	

Критерий Стьюдента [Student criterion]	t	$t_{\text{табл}}$	t	$t_{\text{табл}}$	t	$t_{\text{табл}}$
	12,484	2,045	1,062	2,064	2,484	2,080
Оценка различий по степени выраженности признака [Assessment of differences in the severity of the sign]	Доверительно [Reliably]			Не доверительно [Not reliably]		
	Доверительно [Reliably]			Доверительно [Reliably]		
Содержание абсолютно-сухого вещества в плодах [The content of absolutely dry matter in the fruit]						
Критерий Фишера [Fisher test]	F	$F_{\text{табл}}$	F	$F_{\text{табл}}$	F	$F_{\text{табл}}$
	2,680	9,280	16,969	9,280	6,331	9,280
Оценка различий по варибельности признака [Assessment of differences in the variability of the trait]	Не доверительно [Not reliably]			Доверительно [Reliably]		
	Не доверительно [Not reliably]			Не доверительно [Not reliably]		
Критерий Стьюдента [Student criterion]	t	$t_{\text{табл}}$	t	$t_{\text{табл}}$	t	$t_{\text{табл}}$
	13,104	2,447	3,537	3,182	2,542	2,447
Оценка различий по степени выраженности признака [Assessment of differences in the severity of the sign]	Доверительно [Reliably]			Доверительно [Reliably]		
	Доверительно [Reliably]			Доверительно [Reliably]		

Плоды трех изученных видов шиповников не одинаковы по длине (см. табл. 1, 2). Выявленные различия статистически достоверны и по вариабельности, и по степени выраженности признака. Цинарродии *Rosa oxyodon* примерно в 1,9 раз длиннее плодов *R. amblyotis* и в 2,3 раза – *R. maximowicziana*; цинарродии *R. amblyotis* и *R. maximowicziana* различаются между собой по длине в 1,2 раза. Длина плодов *R. maximowicziana* варьирует слабо, т.к. коэффициент вариации (V) не превышает 10%. У *R. amblyotis* и *R. oxyodon* отмечается среднее варьирование признака, в интервале $10\% \leq V \leq 20\%$. Округлив показатели точности опыта до целых чисел, результаты измерений длины плодов можно считать достоверными ($P \leq 5\%$).

Диаметры цинарродиев, в отличие от их длин, не всегда достоверно различимы между собой у исследованных видов шиповников. При заданном 95%-м уровне значимости и установленном в каждом случае числе степеней свободы различия диаметров плодов *R. amblyotis* и *R. oxyodon* можно считать случайными по критериям и Фишера, и Стьюдента. Различие диаметров плодов *R. maximowicziana* и *R. oxyodon* спорно, т.к. результаты сравнений дисперсий и средних арифметических признака не совпадают друг с другом. Лишь диаметр цинарродиев *R. amblyotis* достоверно больше таковых у *R. maximowicziana* приблизительно в 1,4 раза. Закономерности варьирования диаметров и длин плодов сходны. Диаметры плодов изменчивы средне (*R. amblyotis* и *R. oxyodon*), либо слабо (*R. maximowicziana*). Показатели точности опытов не превышают 5%.

Соотношения весовых показателей свежих цинарродиев всех трех исследуемых видов коррелируют с их размерами, особенно с длиной. Масса воздушно-сухих плодов *R. oxyodon* больше, чем у *R. amblyotis* примерно в 1,5 раза (достоверно лишь при сравнении дисперсий, но не средних арифметических), а чем у *R. maximowicziana* – в 3,2 раза (достоверно). Плоды *R. amblyotis* тяжелее плодов *R. maximowicziana* в 2,2 раза (достоверно). Варьирование признака среднее у *R. amblyotis* и *R. maximowicziana* и сильное ($V \geq 20\%$) у *R. oxyodon*. В последнем случае точность опыта нельзя считать удовлетворительной, т.к. $P \geq 5\%$.

При сравнении содержания абсолютно-сухого вещества в плодах шиповников критерий Стьюдента выявил достоверность различий средних арифметических для всех трех видов. Однако по критерию Фишера данный параметр достоверно различается лишь для *R. amblyotis* и *R. oxyodon*. Примечательно, что самые крупные и тяжелые в свежем состоянии плоды *R. oxyodon* по содержанию в них абсолютно-сухого вещества достоверно уступают промежуточным по размерам и массе

плодам *Rosa amblyotis* (90,25% и 94,25%, соответственно). Таким образом, превосходство свежих плодов *R. oxyodon* объясняется их большей оводненностью, что важно для выбора промышленно значимого для культивирования вида. Цинарродии *R. maximowicziana* характеризуются наименьшими размерно-весовыми показателями до и после максимального высушивания (содержание абсолютно-сухого вещества в плодах 87,00%). Рассматриваемый параметр для плодов всех изученных видов варьирует очень слабо ($V \leq 10\%$), опыты выполнены точно ($P \leq 5\%$).

Заключение

Результаты нашего сравнительного анализа плодов шиповников, проходящих интродукционные испытания в дендрарии ГБС РАН, не противоречат литературным сведениям о плодах шиповников, произрастающих в питомниках либо в условиях их природных местообитаний.

Цинарродии *R. oxyodon* являются самыми крупными, у *R. maximowicziana* наиболее мелкие плоды, а плоды *R. amblyotis* занимают среднее положение среди исследуемых видов. Знание длин и диаметров цинарродиев дает представление об их форме: вытянутая у *R. oxyodon*, немного сплюснутая у *R. amblyotis* и примерно шаровидная у *R. maximowicziana*.

Массы воздушно-сухих плодов исследованных шиповников прямо пропорциональны их размерам: самые тяжелые и, предположительно, оводненные плоды – у *R. oxyodon*, наиболее легкие – у *R. maximowicziana*, а занимающие промежуточное положение – у *R. amblyotis*. Однако цинарродии *R. oxyodon* по сравнению с *R. amblyotis* теряют свои преимущества по размерам и массе при высушивании до абсолютно-сухого состояния.

Плоды *R. oxyodon* являются наиболее разнородными по своим морфометрическим и весовым параметрам, согласно определенным коэффициентам вариации признаков. Наименее вариативны плоды *R. maximowicziana*.

Таким образом, свежие цинарродии *R. oxyodon* характеризуются вытянутой формой, наибольшими размерами, массой и вариативностью данных признаков, а также оводненностью, что особенно значимо для промышленного использования. Плоды *R. maximowicziana* – наиболее мелкие, шаровидные, варьируют в наименьших пределах, содержат наименьший процент абсолютно-сухого вещества. Эллипсоидные плоды *R. amblyotis* занимают среднее положение среди исследуемых видов по размерно-весовым показателям и вариативности признаков, однако превосходят цинарродии *Rosa oxyodon* по содержанию абсолютно-сухого вещества.

Все три вида исследованных нами интродуцированных шиповников обильно плодоносят в условиях Московского региона, согласно литературным данным, не уступая произрастающим в природных условиях видам по размерно-весовым и биохимическим показателям, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных объектов для получения витаминизированного сырья. Анализ морфометрических и весовых характеристик цинарродиев изученных шиповников позволяют нам рекомендовать для дальнейшего изучения *Rosa amblyotis* и *R. oxyodon* как наиболее многообещающие объекты для использования в пищевой промышленности.

Выводы

1. Установлены длины свежих цинарродиев *R. oxyodon*, *R. amblyotis* и *R. maximowicziana* ($2,02 \pm 0,22$ см, $1,06 \pm 0,12$ см и $0,86 \pm 0,06$ см, соответственно), сравнительное превосходство признака для каждого вида (длина плодов *R. oxyodon* \geq *R. amblyotis* в 1,9 раз; *R. oxyodon* \geq *R. maximowicziana* в 2,3 раза; *R. amblyotis* \geq *R. maximowicziana* в 1,2 раза), а также статистическая достоверность различий признака для всех трех видов по критериям Стьюдента и Фишера.

2. Определены диаметры свежих цинарродиев *R. oxyodon*, *R. amblyotis* и *R. maximowicziana* ($1,18 \pm 0,13$ см, $1,22 \pm 0,09$ см и $0,90 \pm 0,06$ см, соответственно), достоверно различающиеся и по вариабельности, и по степени выраженности признака лишь у *R. amblyotis* и *R. maximowicziana*, приблизительно в 1,4 раза.

3. Установлены массы воздушно-сухих цинарродиев *R. oxyodon*, *R. amblyotis* и *R. maximowicziana* ($1,08 \pm 0,16$ г, $0,74 \pm 0,60$ г и $0,34 \pm 0,03$ г, соответственно), корреляция масс с длинами плодов, сравнительное превосходство признака для каждого вида (масса плодов *R. oxyodon* \geq *R. amblyotis* в 1,5 раз; *R. oxyodon* \geq *R. maximowicziana* в 3,2 раза; *R. amblyotis* \geq *R. maximowicziana* в 2,2 раза), статистическая достоверность различий признака по критериям Стьюдента и Фишера практически у всех изученных шиповников (лишь в паре *R. oxyodon* и *R. amblyotis* сходство по вариабельности массы достоверно, а по степени выраженности признака случайно).

4. Определено содержание абсолютно-сухого вещества в воздушно-сухих цинарродиях *R. oxyodon*, *R. amblyotis* и *R. maximowicziana* ($90,25 \pm 3,28\%$, $94,25 \pm 0,80\%$ и $87,00 \pm 1,30\%$, соответственно), достоверно различающееся для всех трех видов только по критерию Стьюдента и лишь для *R. amblyotis* и *R. oxyodon* – одновременно по критерию Стьюдента и Фишера.

Библиографический список / References

Вермейлен Н. Розы. Иллюстрированная энциклопедия. М., 2003. [Vermeilen N. Rozy. Illjustrirrovannaja jenciklopedija [Roses. Illustrated encyclopedia]. Moscow, 2003.]

Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы № 717 от 14.07.2012. [Gosudarstvennaya programma razvitiya sel'skogo khozyaistva i regulirovaniya ryнков sel'skokhozyaistvennoi produktsii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013–2020 gody № 717 ot 14.07.2012 [State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets for 2013–2020 No. 717 dated July 14, 2012].]

Государственная фармакопея СССР. XI издание. Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / Машковский М.Д., Бабалян Э.А., Обоймакова А.Н. и др. М., 1990. [Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR. XI izdanie. Вып. 2: Obshchie metody analiza. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e [USSR State Pharmacopoeia. XI edition. Vol. 2: General methods of analysis. Medicinal plant raw materials]. Mashkovskii M.D., Babayan E.A., Oboimakova A.N. et al. Moscow, 1990.]

Даников Н.И. Целебный шиповник. М., 2013. [Danikov N.I. Tselebnyi shipovnik [Healthful rosehip]. Moscow, 2013.]

Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.И. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. [Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.I. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rastenii [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad, 1987.]

Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990. [Zaitsev G.N. Matematika v eksperimental'noi botanike [Mathematics in experimental botany]. Moscow, 1990.]

Игнат'ев В.Д. Шиповник и его использование. Новосибирск, 1946. [Ignat'ev V.D. Shipovnik i ego ispol'zovanie [Rosehip and its use]. Novosibirsk, 1946.]

Ламан Н.А., Копылова Н.А. Шиповник – природный концентрат витаминов и антиоксидантов // Наука и инновации. 2017. № 10 (176). С. 45–49. [Laman N.A., Kopylova N.A. Rosehip – a natural concentrate of vitamins and antioxidants. *Nauka i innovatsii*. 2017. № 10 (176). Pp. 45–49.]

Левина Р.Е. Морфология и экология плодов. Л., 1987. [Levina R.E. Morfologiya i ekologiya plodov [Morphology and ecology of fruits]. Leningrad, 1987.]

Михайлов Г.К. Тайные рецепты русских знахарей. Шиповник, облепиха, черноплодная рябина. М., 2014. [Mikhailov G.K. Tainye retsepty russkikh znakharej. Shipovnik, oblepikha, chernoplodnaya ryabina [Secret recipes of Russian healers. Rosehip, sea buckthorn, black chokeberry]. Moscow, 2014.]

Новрузов А.Р. Содержание и динамика накопления аскорбиновой кислоты в плодах *Rosa canina* L. // Химия растительного сырья. 2014. № 3. С. 221–226. [Novruzov A.R. The content and dynamics of the accumulation of ascorbic acid in fruits *Rosa canina* L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2014. № 3. Pp. 221–226.]

Плотникова Л.С. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. М., 2005. [Plotnikova L.S. Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN [Woody plants of Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Science]. Moscow, 2005.]

Постановление Правительства РФ об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» № 328 от 15.04.2014. [Postanovlenie Pravitel'stva RF ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii «Razvitie promyshlennosti i povyshenie ee konkurentosposobnosti» № 328 от 15.04.2014 [Resolution of the Government of the Russian Federation on the approval of the state program of the Russian Federation “The development of industry and the improvement of its competitiveness” No. 328 dated 04.15.2014].]

Розанова М.А. Изменчивость аскорбиновой кислоты в роде *Rosa* // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. 1946. Т. 51. Вып. 4/5. С. 102–113. [Rozanova M.A. Variability of ascorbic acid in the genus *Rosa*. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 1946. T. 51. Vol. 4/5. Pp. 102–113.]

Статистика малых выборок в медицинских исследованиях / Носовский А.М., Пихлак А.Э., Логачев В.А. и др. // Российский медицинский журнал. 2013. № 6. С. 57–60. [Nosovskii A.M., Pikhlak A.E., Logachev V.A., Chursinova I.I., Mut'eva N.A. Small sample statistics in medical research. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal*. 2013. № 6. Pp. 57–60.]

Шнякина Г.П., Малыгина Э.П. Витамины и фенольные соединения в плодах дальневосточных видов шиповника // Растительные ресурсы. 1975. Т. 11. Вып. 3. С. 390–394. [Shnyakina G.P., Malygina E.P. Vitamins and phenolic compounds in the fruits of the Far Eastern species of wild rose. *Rastitel'nye resursy*. 1975. T. 11. Vol. 3. Pp. 390–394.]

Angelov G., Boyadzhieva S., Georgieva S. Rosehip extraction: Process optimization and antioxidant capacity of extracts. *Central European Journal of Chemistry*. 2014. Vol. 12. Issue 4. Pp. 502–508.

Erenturk S., Gulaboglu M.S., Gultekin S. The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineering*. 2005. Vol. 68. Pp. 513–518.

Pirone B.N., Ochoa M.R., Kessler A.G., De Michelis A. Chemical characterization and evolution of ascorbic acid concentration during dehydration of rosehip (*Rosa glantheria*) fruits. *American Journal of Food Technology*. 2007. Vol. 2. Pp. 377–387.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019, принята к публикации 18.04.2019
The article was received on 18.03.2019, accepted for publication 18.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Ноздрина Татьяна Дмитриевна – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности Института ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств

Tatyana D. Nozdrina – PhD in Biology; associat professor at the Department of Veterinary-sanitary Examination and Biological Safety of the Institute of Veterinary, Veterinary-sanitary Examination and Agrosafety, Moscow State University of Food Production

ORCID: 0000-0003-2589-4787

E-mail: biomgupp@yandex.ru

Соломонова Екатерина Владимировна – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности Института ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств

Ekaterina V. Solomonova – PhD in Biology; associat professor at the Department of Veterinary-sanitary Examination and Biological Safety of the Institute of Veterinary, Veterinary-sanitary Examination and Agrosafety, Moscow State University of Food Production

ORCID: 0000-0003-0061-4080

E-mail: solomonova_k@mail.ru

Трусов Николай Александрович – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории дендрологии, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук

Nikolai A. Trusov – PhD in Biology; senior researcher at the Laboratory of Dendrology, Tsytin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences

ORCID: 0000-0002-5147-6602

E-mail: n-trusov@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Т.Д. Ноздрина – сбор плодов шиповников, их морфометрия и взвешивание

Е.В. Соломонова – статистическая обработка полученных данных, литературная обработка материалов

Н.А. Трусов – координация и консультирование на всех этапах проекта, работа с научной литературой

Contribution of the authors

T.D. Nozdrina – collection of rose hips, their morphometry and weighing

E.V. Solomonova – statistical processing of data obtained, literary processing of materials

N.A. Trusov – coordination and consultation at all stages of the project, work with scientific literature

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-162-175

Б.В. Прошкин¹, А.В. Климов²¹ Новосибирский государственный аграрный университет,
630039 г. Новосибирск, Российская Федерация² ООО «ИнЭКА-консалтинг»,
654027 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

Изменчивость количественных и качественных признаков *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov

Цель настоящей работы – выявить уровень фенотипического разнообразия морфологических признаков листьев *Populus × sibirica*, в том числе качественных признаков-фенов. Для выявления вариабельности авторами было обследовано 90 деревьев, на которых были обмерены 1350 листьев в зеленых насаждениях городов Новосибирска, Новокузнецка и Бердска. При анализе качественных признаков морфологическими маркерами выбраны: опушение листа, развитие базальных желез, форма листовой пластинки, ее основания и верхушки. Проведенные исследования выборок *P. × sibirica* показали, что для него характерна очень низкая и низкая вариабельность количественных признаков листа, преобладание листовых пластинок яйцевидной формы и листьев с развитыми базальными железками (78–89%). Близкие показатели усредненной эндогенной и индивидуальной изменчивости отражают его культурное происхождение. Вероятно, *P. × sibirica* в Сибирском регионе представляет собой несколько клонов, отобранных из одной гибридной семьи. Ряд изученных морфологических качественных признаков листа, отличающихся отсутствием эндогенной изменчивости, можно отнести к фенам: форму верхушки и форму основания листовой пластинки, а также характер развития опушения. Самым спорным вопросом в происхождении *P. × sibirica* остается наличие в основании листовой пластинки базальных желез.

Ключевые слова: *Populus*, гибридизация, культивары, морфологические признаки, изменчивость.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Прошкин Б.В., Климов А.В. Изменчивость количественных и качественных признаков *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 162–175. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-162-175.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-162-175

B.V. Proshkin¹, A.V. Klimov²

¹ Novosibirsk State Agrarian University,
Novosibirsk, 630039, Russian Federation

² InEca-Consulting LLC,
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654027, Russian Federation

Variability of quantitative and qualitative characteristics of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov

The purpose of this work is to identify the level of phenotypic diversity of the morphological features of *Populus × sibirica* leaves, including qualitative signphenes. To reveal the variability, the authors examined 90 trees, on which 1,350 leaves were measured in the green areas of the cities of Novosibirsk, Novokuznetsk and Berdsk. When analyzing the qualitative features, there were selected the following morphological markers: leaf pubescence, development of basal glands, leaf form, its base and apex. The conducted studies of *P. × sibirica* samples showed that it is characterized by very low and low variability of the quantitative traits of a leaf. Leaf-shaped ovoid plates and leaves with developed basal glands (78–89%) are predominant. Close indicators of averaged endogenous and individual variability reflect its cultural origin. Probably, *P. × sibirica* in the Siberian region consists of several clones selected from the same hybrid family. A number of studied morphological qualitative features of a leaf, which are distinguished by the absence of endogenous variability, can be attributed to phenes: the shape of the apex and the shape of the base of the lamina, as well as the nature of the development

of pubescence. The most controversial issue in the origin of *P. × sibirica* remains the presence of basal glands at the base of the leaf blade.

Key words: *Populus*, hybridization, cultivars, morphological features, variability.

CITATION: Proshkin B.V., Klimov A.V. Variability of quantitative and qualitative characteristic of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 162–175. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-162-175.

Populus × sibirica (тополь сибирский) – сложный гибрид, возникший в результате скрещивания видов секций *Aigeiros* Lunell и *Tacamahaca* Mill. Его точное происхождение остается не известным [Адвентивная флора..., 2012; Климов и др., 2018; Костина и др., 2018]. Морфологические особенности и гибридная природа происхождения таксона уже рассматривались авторами в ряде работ, как и его отличия от *P. balsamifera* L. с которым он ранее отождествлялся [Прошкин, Климов, 2017а; Климов и др., 2018; Климов, Прошкин, 2018а]. *P. × sibirica* широко распространен в озеленении и защитном лесоразведении в Сибири и за ее пределами [Бакулин, 1990]. Последнее нередко приводит к контакту его насаждений с популяциями местных видов, обеспечивая тем самым возможности проникновения экзотических генов в природные геофонды. Факты спонтанной гибридизации *P. × sibirica* с *P. nigra* L. неоднократно фиксировались в регионе [Костина и др., 2016, 2018; Прошкин, Климов, 2017а].

В ходе полевых исследований, проведенных в 2016–2018 гг. на нарушенных участках на территории Кемеровской области, авторами были выявлены многочисленные очаги антропогенной гибридизации *P. × sibirica* с *P. nigra* и отдельные – с аборигенным *P. laurifolia* Ledeb. (г. Мыски) и культивируемым *P. suaveolens* Fisch. (г. Кемерово). Изучение любой зоны гибридизации, безусловно, базируется на данных об изменчивости родительских таксонов. Как мы уже отмечали ранее, важнейшими признаками выявления гибридов, возникших в результате скрещивания видов секций *Aigeiros* и *Tacamahaca*, являются дифференциация побегов кроны, морфология листа и особенности петиолярной анатомии [Прошкин, Климов, 2018; Климов, Прошкин, 2018б]. Однако идентификация и описание возникающих в ходе наблюдаемых спонтанных скрещиваний гибридов затрудняется отсутствием данных о вариабельности морфологии листьев *P. × sibirica*.

Цель настоящей работы – выявить уровень фенотипического разнообразия морфологических признаков листьев *P. × sibirica*, в том числе качественных признаков-фенов.

Материалы, методы и район проведения исследования

Для выявления вариабельности *Populus × sibirica* авторами были обследованы зеленые насаждения городов Новосибирска, Новокузнецка (Кемеровская обл.) и Бердска (Новосибирская обл.). В каждом с 30 рандомизированно отобранных репродуктивно зрелых деревьев, с южной стороны средней части кроны, проводился сбор гербарного материала. С каждой особи отбиралось по 15 полностью развитых, неповрежденных листьев, только со средней части укороченных побегов [Прошкин, Климов, 2017б]. Всего было обследовано 90 деревьев, на которых были измерены 1350 листьев.

На каждом листе были изучены следующие морфометрические признаки.

Основные: L – длина листовой пластинки (мм); D – максимальная ширина листовой пластинки (мм); P – длина черешка (мм); A – расстояние между самой широкой частью листовой пластинки и ее основанием (мм).

Производные: P/L – длина черешка / длина листовой пластинки; D/L – максимальная ширина листовой пластинки / длина листовой пластинки; A/L – расстояние между самой широкой частью листовой пластинки и ее основанием / длина листовой пластинки.

Измерения основных морфометрических признаков проводились с помощью программы «Axio Vision 4.8.2» [ZEISS, 2018]. Графическое представление и статистическую обработку всех полученных данных проводили с помощью программ Excel и IBM SPSS Statistics 23.0 software [IBM..., 2018]. Анализ вариабельности исследованных признаков проводился на разных иерархических уровнях выборки в пределах каждой особи (эндогенная изменчивость) и в пределах пробной площади (индивидуальная). При этом рассчитывали основные параметры описательной статистики: среднюю арифметическую (\bar{x}), ее ошибку (m), максимальное и минимальное значение, стандартное отклонение (σ) и коэффициент вариации (CV , %). Для проверки различий в морфологии использовали дисперсионный анализ ANOVA, приняв за критичный уровень значимость $p < 0,001$ [Гласс, Стенли, 1976; Ивантер, Коросов, 2003]. Оценку уровней изменчивости признаков осуществляли по эмпирической шкале С.А. Мамаева (1972).

При анализе качественных признаков в качестве морфологических маркеров выбраны: опушение листа, развитие базальных желез, форма листовой пластинки, ее основания и верхушки.

Степень развития трихом и базальных желез (экстрафлоральные нектарники в основании листовой пластинки) исследовалась с помощью стереоскопического микроскопа МБС–10 (ЛЗОС, Россия) при увеличении 16,3×.

Определение формы листовой пластинки проводили, используя диапазоны отношения A/L , установленные ранее: $<0,25$ – треугольная; $0,25-0,35$ – яйцевидно-треугольная; $0,35-0,45$ – яйцевидная; $0,45-0,65$ – эллиптическая; $>0,65$ – обратнойцевидная [Климов, Прошкин, 2018в]. Форму основания и верхушки определяли по атласу авторства Ал.А. Федорова, М.Э. Кирпичникова М.Э., З.Т. Артюшенко (1956).

Для оценки изменчивости использовали обобщенные показатели, предложенные Л.А. Животовским (1991) и В.П. Путенихиным с соавторами (2004). Анализ разнообразия качественных признаков, удовлетворяющих критериям фена, проводили согласно методическим рекомендациям, разработанным А.И. Видякиным (2004).

Результаты

Проведенные исследования количественных признаков листа показали, что изученные выборки из зеленых насаждений городов Новосибирска, Новокузнецка и Бердска достоверно отличаются только по двум признакам: P – длине черешка и индексу P/L (табл. 1). В целом вариативность всех исследованных признаков во всех выборках очень низкая или низкая. Очень мало варьируют индексы D/L и A/L , отражающие изменчивость формы листовой пластинки. На среднем уровне варьировала только длина черешка.

Таблица 1

Изменчивость морфометрических признаков листа
Populus × sibirica
[The variability of morphometric characteristics of the sheet
Populus × sibirica]

Признак [Indication]	Насаждения [Planting]	$\bar{x} \pm m$	min–max	$\pm y$	$CV, \%$	F
L	Бердск [Berdsk]	$91,10 \pm 0,38$	68–116	8,26	9,06	3,588
	Новосибирск [Novosibirsk]	$91,20 \pm 0,41$	72–108	8,71	9,55	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	$87,20 \pm 0,42$	58–116	8,98	10,29	
D	Бердск [Berdsk]	$58,30 \pm 0,24$	48–72	5,11	8,76	2,728
	Новосибирск [Novosibirsk]	$57,30 \pm 0,22$	44–68	4,84	8,44	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	$55,90 \pm 0,26$	38–72	5,69	10,17	

Окончание табл. 1

Признак [Indication]	Насаждения [Planting]	$\bar{x} \pm m$	min-max	$\pm y$	CV, %	F
P	Бердск [Berdsk]	53,30 ± 0,32	36–70	6,85	12,85	33,089
	Новосибирск [Novosibirsk]	48,60 ± 0,27	34–64	5,77	11,87	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	44,50 ± 0,31	28–68	6,71	15,07	
A	Бердск [Berdsk]	32,60 ± 0,13	24–38	2,78	8,52	7,599
	Новосибирск [Novosibirsk]	32,30 ± 0,14	24–42	3,02	9,34	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	30,60 ± 0,14	20–42	3,15	10,29	
P/L	Бердск [Berdsk]	0,58 ± 0,003	0,39–0,76	0,07	12,06	36,241
	Новосибирск [Novosibirsk]	0,53 ± 0,002	0,38–0,72	0,05	9,43	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	0,51 ± 0,002	0,32–0,70	0,05	9,81	
A/L	Бердск [Berdsk]	0,35 ± 0,001	0,31–0,43	0,02	5,71	1,617
	Новосибирск [Novosibirsk]	0,35 ± 0,001	0,31–0,41	0,02	5,71	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	0,35 ± 0,001	0,28–0,42	0,02	5,71	
D/L	Бердск [Berdsk]	0,64 ± 0,001	0,53–0,73	0,03	4,68	2,055
	Новосибирск [Novosibirsk]	0,62 ± 0,001	0,55–0,72	0,03	4,83	
	Новокузнецк [Novokuznetsk]	0,64 ± 0,002	0,48–0,75	0,04	6,25	

Примечание. L – длина листовой пластинки, мм; D – максимальная ширина листовой пластинки, мм; P – длина черешка, мм; A – расстояние между самой широкой частью листовой пластинки и ее основанием, мм.

[Note: L is the length of the leaf blade (mm); D is the maximum width of the leaf blade (mm); P – petiole length (mm); A is the distance between the widest part of the leaf blade and its base (mm).]

Уровни усредненной эндогенной и индивидуальной изменчивости в изученных насаждениях относительно близки (табл. 2), что резко отличает *Populus × sibirica* от аборигенных видов *Populus*. В частности,

у *Populus nigra* и *P. laurifolia* уровень индивидуальной изменчивости в 1,5–2 раза выше эндогенной, что наблюдается как по отдельным признакам, так и обобщающим коэффициентам [Климов, Прошкин, 2018 г].

Таблица 2

Уровни изменчивости количественных признаков листьев
[Levels of variability of leaf quantification]

Насаждения [Planting]	$CV_{эн}$, %	$CV_{ин}$, %
Бердск [Berdsk]	6,92	8,81
Новосибирск [Novosibirsk]	6,09	8,45
Новокузнецк [Novokuznetsk]	6,12	9,65

Пр и м е ч а н и е. $CV_{эн}$ – усредненный коэффициент эндогенной изменчивости; $CV_{ин}$ – наблюдаемый коэффициент индивидуальной вариации, непосредственно установленный для каждой выборки.

[N o t e. $CV_{эн}$ – averaged coefficient of endogenous variability; $CV_{ин}$ is the observed coefficient of individual variation, directly established for each sample.]

На эндогенном уровне у *P. × sibirica* отсутствует изменчивость по трем из рассматриваемых качественных признаков листа: форме верхушки, форме основания листовых пластинок и опушению листа. На укороченных побегах в средней части кроны у всех листьев одного дерева всегда выражена только одна форма верхушки и основания листовой пластинки: верхушка всегда заостренная, основание округленно-клиновидное. Во всех изученных насаждениях резко преобладали особи с опушенными черешками и листовыми пластинками (табл. 3).

Таблица 3

Встречаемость качественных признаков в насаждениях
по несмещенной оценке частот ($p \pm S_p$)
[Occurrence of qualitative signs in plantations
by unbiased frequency estimation ($p \pm S_p$)]

Признак [Indication]	Вариация [Variation]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Форма листовой пластинки [Leaf blade shape]	Яйцевидно-треугольная [Ovoid Triangular]	0,375 ± 0,022	0,422 ± 0,023	0,432 ± 0,023
	Яйцевидная [Ovoid]	0,625 ± 0,022	0,578 ± 0,023	0,568 ± 0,023

Признак [Indication]	Вариация [Variation]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Форма основания пластинки [Leaf base shape]	Округленно-клиновидная [Rounded wedge-shaped]	1,000 ± 0,000	1,000 ± 0,000	1,000 ± 0,000
Форма верхушки пластинки [Leaf apex shape]	Заостренная [Pointed]	1,000 ± 0,000	1,000 ± 0,000	1,000 ± 0,000
Опушение листа [Leaf pubescence]	Голый [Naked]	0,234 ± 0,077	0,167 ± 0,068	0,300 ± 0,083
	Опушенный [Pubescent]	0,766 ± 0,077	0,833 ± 0,068	0,700 ± 0,083
Количество базальных желез [The number of basal glands]	0	0,111 ± 0,014	0,222 ± 0,019	0,222 ± 0,019
	1	0,266 ± 0,020	0,222 ± 0,019	0,333 ± 0,022
	2	0,623 ± 0,022	0,556 ± 0,023	0,445 ± 0,023

У *Populus × sibirica* обнаружено две формы пластинки листа: яйцевидно-треугольная и яйцевидная (см. табл. 3). Как у исследованных ранее *P. nigra*, *P. laurifolia* и *P. × jrtyschensis* Ch. Y. Yang., у *P. × sibirica* в пределах одного дерева можно наблюдать сразу несколько форм листовой пластинки, хотя резко преобладает одна из них [Климов, Прошкин, 2018в]. Во всех изученных насаждений наиболее распространены яйцевидные листья (56,8–62,5%).

В выборках преобладали листья с развитыми базальными железками (78–89%). У большинства исследованных особей в основании листовой пластинки их две, реже одна, они выражены не на всех листьях, но встречаются на каждом дереве, на листьях всех типов побегов (см. табл. 3). Доля листьев без железок в пределах одного дерева варьирует от 7 до 40%.

Обсуждение результатов

Анализ эндогенной изменчивости рассматривается как первый этап исследования количественных признаков [Банаев, Шемберг, 2000], позволяющий устранить методические ошибки в ходе изучения других

форм изменчивости [Kajba et al., 2015]. В.Т. Бакулин (2007), отмечал, что размер и морфологические признаки листьев тополя варьируют не только у разных особей в популяции, но на разных частях кроны одного дерева. Поэтому привлечение для биометрического анализа разнокачественного материала может дать результат, совершенно неприемлемый для сравнительных исследований. Проведенные предварительные обследования также показали значительный размах вариабельности в кроне, особенно сильно отличаются от типичных листья нижних ветвей [Прошкин, Климов, 2017б]. Поэтому анализ эндогенной, как и других форм изменчивости, у видов *Populus* следует проводить только с привлечением листьев укороченных побегов средней части кроны.

В целом во всех трех исследованных выборках *P. × sibirica* большинство морфометрических признаков на эндогенном уровне характеризуются преимущественно низким уровнем изменчивости, что свидетельствует о значительном генетическом контроле. Особенно это касается признаков, определяющих форму листовой пластинки (D/L и A/L), поэтому, несмотря на кажущуюся высокую вариабельность последней, в пределах кроны всегда преобладает одна [Климов, Прошкин, 2018в]. Сходные результаты наблюдались авторами и при изучении эндогенной изменчивости в природных популяциях *P. nigra*, *P. laurifolia* и *P. × jrtyschensis*. Следовательно, данные признаки могут служить ключевыми при оценке фенотипической изменчивости на внутри- и межпопуляционном уровнях.

Относительно высокой изменчивость в пределах особи отличается длина черешка. Черешок играет важную роль в ориентации пластинки по отношению к источнику света, именно неравномерность его роста (длины) обеспечивает важнейший адаптационный механизм растения – листовую мозаику. Вероятно, с эти связано наличие различий по данному признаку.

Низкие уровни индивидуальной изменчивости, наблюдаемые во всех выборках *P. × sibirica*, на наш взгляд, показывают незначительность генотипических различий между особями. Это подтверждает представления о том, что тополь сибирский отобран в культуре и, следовательно, должен отличаться невысоким разнообразием [Климов и др., 2018]. В Сибири он представлен, вероятно, несколькими клонами, по меньшей мере, одним мужским и одним женским, отобранными из одной гибридной семьи как гибридный сорт или культивар, хотя и отождествленный с *P. balsamifera*. При этом его подлинное происхождение остается неясным. Увы, такая картина наблюдается и по многим другим сортам тополя в силу утраты селекционных документов, отбора в культуру

неизвестного происхождения гибридных растений по хозяйственно ценным признакам и не только в России [Климов и др., 2018].

В изменчивости качественных признаков листа у *Populus × sibirica* прослеживаются те же закономерности, что и у изученных ранее *P. nigra*, *P. laurifolia* и *P. × jrtyschensis*: отсутствие эндогенной изменчивости по форме верхушки, форме основания листовых пластинок и опушению листа, которые можно рассматривать как фены. А также резкое преобладание в пределах особи одной формы листовой пластинки, в данном случае – яйцевидной.

Варьирование на индивидуальном уровне признака опушения, вероятно также отражает наличие нескольких клонов в насаждениях региона.

Самым спорным вопросом в происхождении *P. × sibirica* остается наличие в основании листовой пластинки базальных желез. Последние представляют собой экстрафлоральные нектарники, секреты которых привлекают муравьев, обеспечивающих защиту молодых листьев тополей от фитофагов [Escalante-Pérez et al., 2012]. У видов секций *Aigeiros* и *Tacamahaca* базальные железки выражены только у *P. deltoides* Marshall, *P. balsamifera* и *P. trichocarpa* Torrey & A. Gray [Eckenwalder, 2010]. Это позволило нам предполагать участие в образовании *P. × sibirica* одного из последних видов. Однако, как показали исследования М.В. Костиной с соавторами (2018), базальные железы встречаются и у *P. suaveolens*.

Заключение

Проведенные исследования выборки *P. × sibirica* из трех городов Сибири показали, что данный таксон характеризуется низкой изменчивостью количественных признаков листа, наличием среди качественных ряда признаков, отвечающих критериям фена. Самым спорным вопросом в происхождении *P. × sibirica* остается наличие в основании листовой пластинки базальных желез.

Выводы

1. Для *P. × sibirica* характерна очень низкая и низкая вариабельность количественных признаков листа, особенно индексов D/L и A/L, отражающих изменчивость формы листовой пластинки.

2. Усредненные показатели эндогенной и индивидуальной изменчивости в изученных насаждениях относительно близки, что резко отличает *P. × sibirica* от аборигенных видов *Populus*. Это показывает незначительность генотипических различий между особями в насаждениях и отражает культурное происхождение тополя сибирского. Вероятно,

Populus × sibirica представляет собой несколько клонов, отобранных из одной гибридной семьи, что, в частности, подтверждается наличием женских и мужских растений, а также варьированием признака опушения на индивидуальном уровне.

3. Ряд изученных морфологических признаков листа, отличающихся отсутствием эндогенной изменчивости, можно отнести к фенам: форму верхушки и форму основания листовой пластинки, а также характер развития опушения.

Библиографический список / References

Адвентивная флора Москвы и Московской области / Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербаков А.В. М., 2012. [Mayorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti [Adventive flora of Moscow and the Moscow region]. Moscow, 2012.]

Бакулин В.Т. Интродукция и селекция тополей в Сибири. Новосибирск, 1990. [Bakulin V.T. Introduktsiya i selektsiya topolya v Sibiri [Introduction and selection of poplars in Siberia]. Novosibirsk, 1990.]

Бакулин В.Т. Тополь черный в Западной Сибири. Новосибирск, 2007. [Bakulin V.T. Topol' chernyi v Zapadnoi Sibiri [Black poplar in Western Siberia]. Novosibirsk, 2007.]

Банаев Е.В., Шемберг М.А. Ольха в Сибири и на Дальнем Востоке России (изменчивость, таксономия, гибридизация). Новосибирск, 2000. [Banayev Ye.V., Shemberg M.A. Ol'kha v Sibiri i na Dal'nem Vostoke Rossii (izmenchivost', taksonomiya, gibridizatsiya) [Alder in Siberia and the Far East of Russia (variability, taxonomy, hybridization)]. Novosibirsk, 2000.]

Видякин А.И. Методические рекомендации по выделению фенотипов лесных древесных растений (на примере сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)). Воронеж, 2004. [Vidyakin A.I. Metodicheskiye rekomendatsii po vydeleniyu fenov lesnykh drevesnykh rasteniy (na primere sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.)) [Methodical recommendations on the allocation of forest trees (*Pinus sylvestris* L.)]. Voronezh, 2004.]

Гласс Дж., Стэнли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. М., 1976. [Glass G., Stanley J. Statisticheskiye metody v pedagogike i psikhologii [Statistical methods in education and psychology]. Moscow, 1976.]

Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М., 1991. [Zhitovovskiy L.A. Populyatsionnaya biometriya [Population biometry]. Moscow, 1991.]

Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию: Учебное пособие. Петрозаводск, 2003. [Ivanter E.V., Korosov A.V. Vvedeniye v kolichestvennyuyu biologiyu [Introduction to quantitative biology]. Textbook. Petrozavodsk, 2003.]

Климов А.В., Прошкин Б.В. *Populus × sibirica*: проблемы и перспективы исследования // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сб. научных ст. по материалам XVII Международной научно-практической конференции (Барнаул, 24–27 мая 2018 г.). Барнаул, 2018а. С. 204–207. [Klimov A.V., Proshkin B.V. *Populus × sibirica*: Problems and research prospects. *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia*. Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Conference. Barnaul, 2018a. Pp. 204–207.]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Использование анатомо-топографической структуры листовых черешков и расположения устьиц для идентификации видов секции *Tacamahaca* рода *Populus* // *Растительный мир Азиатской России*. 2018б. № 4 (32). С. 30–36. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Using the anatomical and topographical structure of leaf stalks and stomata for identifying species of the *Tacamahaca* section of the genus *Populus*. *Bulletin of Central Siberian Botanical Garden*. 2018б. № 4 (32). Pp. 30–36.]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Фенетический анализ *Populus nigra*, *P. laurifolia* и *P. × jrtyschensis* в зоне гибридизации // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018в. № 4. С. 468–475. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Phenetic analysis of *Populus nigra*, *P. laurifolia* and *P. × jrtyschensis* in natural hybridization zone. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018в. № 22 (4). Pp. 468–475.]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Популяционно-фенетическая структура тополя лавролистного *Populus laurifolia* Ledeb. в бассейне реки Томи // Сибирский лесной журнал. 2018 г. № 5. С. 62–75. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Population and phenetic structure of laurel poplar *Populus laurifolia* Ledeb. in the Tom river basin. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.)*. 2018 г. № 5. Pp. 62–75.]

Климов А.В., Прошкин Б.В., Андреева З.В. Гибридизация видов рода *Populus* L. секций *Aigeiros* Lunell и *Tacamahaca* Mill. в природе и культуре // Вестник НГАУ. 2018. № 1 (46). С. 16–34. [Klimov A.V., Proshkin B.V., Andreeva Z.V. Hybridization of species of the genus *Populus* L. sections *Aigeiros* Lunell and *Tacamahaca* Mill. *Bulletin of the NSAU*. 2018. № 1 (46). Pp. 16–34.]

Костина М.В., Васильева Н.В., Насимович Ю.А. Природные и культивируемые тополя Иркутской области и Бурятии // Социально-экологические технологии. 2018. № 3. С. 9–21. [Kostina M.V., Vasilieva N.V., Nasimovich Yu.A. Natural and cultivated poplars of Irkutsk Province and Buryat Republic. *Socialno-ecologicheskie tehnologii*. 2018. № 3. Pp. 9–21.]

Костина М.В., Чиндяева Л.Н., Васильева Н.В. Гибридизация *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov и *P. nigra* L. в Новосибирске // Социально-экологические технологии. 2016. № 4. С. 20–31. [Kostina M.V., Chindyayeva L.N., Vasilieva N.V. Hybridization between *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov and *P. nigra* L. in Novosibirsk. *Socialno-ecologicheskie tehnologii*. 2016. № 4. Pp. 20–31.]

Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М., 1972. [Mamayev S.A. Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva *Pinaceae* na Urале) [Forms of intraspecific variability of woody plants (by the example of the *Pinaceae* family in the Urals)] Moscow, 1972.]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Спонтанная гибридизация *Populus × sibirica* и *Populus nigra* в городе Новокузнецке (Кемеровская область) // *Turczaninowia*. 2017а. № 20 (4). С. 206–218. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Spontaneous hybridization of *Populus × sibirica* and *Populus nigra* in the city of Novokuznetsk (Kemerovo region). *Turczaninowia*. 2017а. № 20 (4). Pp. 206–218.]

Прошкин Б.В., Климов А.В. *Populus × jrtyschensis* Chang Y. в Алтай-Саянской горной стране // Систематические заметки по материалам Гербария им. П.Н. Крылова Томского государственного университета. 2017б. № 115. С. 28–35. [Proshkin B.V., Klimov A.V. *Populus × jrtyschensis* Chang Y. in the Altai-Sayan mountain country. *Sistematic notes on the materials of P.N. Krylov Herbarium of Tomsk State University*. 2017б. № 115. Pp. 28–35.]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Применение петиолярной анатомии для идентификации *Populus nigra*, *P. laurifolia* и *P. × jrtyschensis* в зоне естественной гибридизации // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Барнаул, 2018а. № 17. С. 247–250. [Proshkin B.V., Klimov A.V. The use of petiolar anatomy to identify *Populus nigra*, *P. laurifolia* and *P. × jrtyschensis* in the zone of natural hybridization. *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia*. Barnaul, 2018. № 17. Pp. 247–250.]

Путенихин В.П., Фарукшина Г.Г., Шиганов З.Х. Лиственница Сукачева на Урале: изменчивость и популяционно-генетическая структура. М., 2004. [Putenikhin V.P., Farukshina G.G., Shiganov Z.Kh. *Listvennitsa Sukacheva na Urale: izmenchivost i populyatsionno-geneticheskaya struktura* [Sukachev Larch in the Urals: Variability and population-genetic structure]. Moscow, 2004.]

Федоров Ал.А., Кирпичников М.Э., Артюшенко З.Т. Атлас по описательной морфологии высших растений. Лист. М., 1956. [Fedorov Al.A., Kirpichnikov M.E., Artyushenko Z.T. *Atlas po opisatelnoy morfologii vysshikh rasteniy. List* [Atlas on descriptive morphology of higher plants. Leaf]. Moscow, 1956.]

Eckenwalder J.E. *Populus*. Flora of North America North of Mexico. New York, 2010. Vol. 7. Pp. 5–22.

Escalante-Pérez M., Jaborsky M., Lautner S., Fromm J., Müller T., Dittrich M., Kunert M., Boland W., Hedrich R., Ache P. Poplar extrafloral nectaries: Two types, two strategies of indirect defenses against herbivores. *Plant Physiology*. 2012. Vol. 159 (3). Pp. 1176–1191. DOI: 10.1104/pp.112.196014.

IBM SPSS Statistics 23. URL: <http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg24038592>

Kajba D., Ballian D., Idžojtić M., Poljak I. Leaf morphology variation of *Populus nigra* L. in natural populations along the Rivers in Croatia and Bosnia and Herzegovina. *South-east Eur for*. 2015. Vol. 6 (1). Pp. 39–51.

ZEISS AxioVision – Microscope software for materials microscopy & industrial applications. Carl Zeiss Microscopy. Jena, Germany: Zeiss Int. TM, 2018. URL: <https://www.zeiss.com/microscopy/int/products/microscope-software/axiovision.html>

Статья поступила в редакцию 10.04.2019, принята к публикации 25.04.2019

The article was received on 10.03.2019, accepted for publication 25.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Прошкин Борис Владимирович – аспирант кафедры селекции, генетики и лесоводства агрономического факультета, Новосибирский государственный аграрный университет

Boris V. Proshkin – graduate student at the Department of Breeding, Genetics and Forestry of the Faculty of Agronomy, Novosibirsk State Agrarian University

ORCID: 0000-0003-2351-9879

E-mail: boris.vladimirovich.93@mail.ru

Климов Андрей Владимирович – кандидат биологических наук; заместитель директора по научной работе, ООО ИнЭКА-консалтинг, г. Новокузнецк Кемеровской обл.

Andrey V. Klimov – PhD in Biology; deputy director for scientific work, InEca-Consulting LLC, Novokuznetsk, Kemerovo region

ORCID: 0000-0002-6750-4807

E-mail: populus0709@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Б.В. Прошкин – анализ и интерпретация результатов математической обработки данных мониторинга, подготовка текста статьи

А.В. Климов – общее руководство направлением исследования, математическая обработка данных мониторинга, участие в подготовке текста статьи

Contribution of the authors

B.V. Proshkin – development of principles for classifying plant life forms for mathematical processing, analysis and interpretation of the results of monitoring data, preparation of the text of the article

A.V. Klimov – general direction of research, mathematical processing of monitoring data, participation in the preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200

Р.Ф. Гарипова, А.Е. Столповских

Оренбургский государственный аграрный университет,
460014 г. Оренбург, Российская Федерация

Определение валидности метода биотестирования факторов окружающей среды в экспериментах с применением биопрепаратов и природного цеолита

В статье приводится апробация нового метода тестирования плодородия почв. Для выявления биологической активности почв предлагается учитывать морфометрические реакции фитотеста и сравнивать их с нормальным математическим распределением, характерным для нормы реакции однородной по генотипу совокупности растений на фоне стабильных условий культивирования. В качестве тест-объекта использованы семена пшеницы *Triticum durum*. Тестированию подвергались почвы, обработанные биопрепаратами «Флора-С», «Фитоп-Флора-С» в комбинации с природными цеолитами. Выдвинута гипотеза: факторы, вызывающие нормализацию распределения морфометрических признаков проростков в фитотесте, способствуют сохранению генофонда и полной реализации репродуктивного потенциала популяции. Новый метод тестирования основан на использовании авторской компьютерной матрицы на основе MS Excel и статистических критериев. Валидность метода определялась по корреляции рангов, полученной при обобщении признаков оптимизации условий культивирования в лабораторных и полевых опытах. Показана высокая валидность метода, выделены статистические показатели, позволяющие дать объективную оценку математическим характеристикам совокупности растений.

Ключевые слова: биотестирование, плодородие почв, биопрепараты, агро-экоценозы.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Гарипова Р.Ф., Столповских А.Е. Определение валидности метода биотестирования факторов окружающей среды в экспериментах с применением биопрепаратов и природного цеолита // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 176–200. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200

R.F. Garipova, A.E. Stolpovsky

Orenburg State Agrarian University,
Orenburg, 460014, Russian Federation

Determination of validity of the biotesting method of environmental factors in experiments with the use of biological preparations on the basis of *Bacillus subtilis* and natural zeolite

Approbation of a new method of soil fertility testing is given in the article. To identify the biological activity of soils, it is proposed to take into account the morphometric reactions of the phytotest and to compare them with the normal mathematical distribution characteristic of the rate of reaction of a plant population homogeneous in genotype against stable cultivation conditions. Seeds of *Triticum durum* are used as a test object. The soils processed by biological preparations: Flora-S, Fitop-Flora-S in a combination with natural zeolites were tested. A hypothesis is put forward: factors that cause the normalization of the distribution of morphometric characteristics of seedlings in the phytotest contribute to the conservation of the gene pool and the full realization of the reproductive potential of the population. The new testing method is based on the use of the authorial computer matrix based on MS Excel and statistical criteria. The validity of the method was determined by the correlation of ranks obtained by summarizing the signs of optimization

of cultivation conditions in laboratory and field experiments. The article points out high validity of the method, and the statistical indicators that allow an objective assessment of the mathematical characteristics of the plant population.

Key words: biotesting, soil fertility, biological preparations, agroecocoenosis.

CITATION: Garipova R.F., Stolpovsky A.E. Determination of validity of the biotesting method of environmental factors in experiments with the use of biological preparation on the basis of *Bacillus subtilis* and natural zeolite. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 176–200. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200.

Один из приемов экологизации современного сельскохозяйственного производства предполагает использование новаторских технологий обогащения почв бактериальными препаратами, обладающими антагонистическим действием по отношению к фитопатогенной микрофлоре. В литературе популярно представлена необходимость применения биологически активных веществ, в том числе микробного происхождения, для стимуляции фитоиммунных реакций [Мельников, Колесников, Базыкина, 2016]. Применение таких препаратов обосновано тем, что все растения поддерживают в своих тканях эпифитные и эндофитные комплексы микроорганизмов, отличающиеся от почвенных по таксономической структуре [Структура и функции бактериальных сообществ..., 2016], а в условиях агроценозов утрата таких комплексов наиболее вероятно, но нежелательна.

Последовательное осуществление динамического моделирования почв и экосистем позволяет наиболее корректно проводить анализ и обобщение данных о содержании органического вещества почв [Чертов, Комаров, 2013]. Для моделирования продуктивной агроэкосистемы требуется учет факторов оптимизации для устойчивого развития полезной микробиоты в почвах. Одним из таких факторов, по нашему мнению, является обогащение почв синтетическими и природными цеолитами, которые обладают уникальными свойствами адсорбции водных растворов и пролонгированной ее отдачи в окружающую среду. Цеолиты в настоящее время получают применение в составе некоторых минеральных удобрений и кормовых добавок [Способ повышения плодородия..., 2004; Применение природных цеолитов..., 2007]. С нашей точки зрения, цеолиты целесообразно использовать и для снижения концентрации различных продуктов химизации в почвах сельскохозяйственных угодий и коррекции водно-воздушного режима почв, что актуально применительно к условиям Оренбуржья. Оптимизация почвенной среды

невозможна без участия основного звена агроэкоценоза – растений. Актуальная для производства растениеводческой продукции биоактивация почв предполагает насыщение почвы, прежде всего, факторами плодородия и деструкции пестицидного загрязнения. При этом классическое определение биологической активности почв по целлюлозоразлагающему эффекту отходит на второй план, и важное значение приобретает реакция растений-фитотестов на обогащение корнеобитаемого слоя живой микробной культурой.

В основе настоящей работы лежит идея тестирования плодородия почв по характерной реакции однородной по генотипу популяции растений пшеницы на оптимизацию почвенных условий. Так как любое сообщество растений природного или искусственного происхождения в оптимальных условиях среды обеспечивает высокую репродукцию потомства, подчиняется стабилизирующему отбору, нами предложена следующая гипотеза: факторы, вызывающие нормализацию распределения морфометрических признаков проростков в фитотесте, способствуют сохранению генофонда и полной реализации репродуктивного потенциала популяции. При этом нами разработана компьютерная матрица на базе приложения MS Excel, которая позволяет по морфометрическим показателям проростков пшеницы строить графики распределения признака роста и развития растений на фоне действия препарата, а также дает описание всех статистических критериев анализируемой совокупности наблюдений.

Целью проведенных исследований являлось определение валидности метода фитотестирования почв, выявление целесообразности применения изучаемых биопрепаратов и природных цеолитов для оптимизации культивирования пшеницы. Для ее решения поставлены следующие задачи:

- 1) проведение биотестирования почв, подвергшихся обработке биопрепаратами и природным цеолитом, на проростках пшеницы;
- 2) определение приоритетных вариантов обработки почв по результатам фитотестирования и по массе зерна, полученной в полевом эксперименте, а также выявление валидности предложенного метода для прогнозирования оптимизации условий культивирования пшеницы.

Методика

В качестве факторов, повышающих биологическую активность почв, применили: бактериальный препарат «Фитоп-Флора-С» на основе *Bacillus subtilis* (штамм ВКПМ В7048) и препарат «Флора-С», представляющий собой высококонцентрированную смесь биологически

активных веществ, выделенных из экологически чистого сырья природного происхождения, сбалансированных по макро- и микроэлементам, с высоким содержанием гуминовых кислот [Косачев, 2014; Боярский, 2015]. В качестве фактора, позволяющего улучшить физико-химические и, косвенно, биологические свойства почв, применили природный цеолит, поставляемый ООО «Терравит» (Волгоград). В соответствии с прилагаемой документацией к сертификату соответствия товара, природный цеолит характеризовался физико-химическими свойствами, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства природного цеолита
[Physical-chemical properties of natural zeolite]

Наименование показателя [Name of indicator]	Значение показателя [Indicator value]
Внешний вид [Appearance]	Мелкозернистая крошка светло-серого, серого цвета [Fine-grained crumb of light gray, gray color]
Массовая доля влаги, %, не более [Mass fraction of moisture, %, no more]	12
Крупность помола [Grinding size]	Менее 1,0 мм
Содержание целевой фракции, %, не менее [The content of the target fraction, %, not less]	90
Наличие металломагнитных примесей с острыми краями [The presence of metal-magnetic impurities with sharp edges]	Нет
Массовая доля содержания оксидов, % [Mass fraction of oxide content, %]:	
– SiO ₂	84–86
– MgO	До 1
– Fe ₂ O ₃	1,0–1,56
– CaO	0,8–1,0
– K ₂ O	0,9–1,2
– Na ₂ O	До 0,5
– Al ₂ O ₃	3,8–4,15
– TiO ₂	0,1–0,2
Другие элементы присутствуют в незначительных количествах [Other elements are present in minor amounts]	

Окончание табл. 1

Наименование показателя [Name of indicator]	Значение показателя [Indicator value]
Массовое содержание клиноптилолита, %, не менее [Mass content of clinoptilolite, %, not less]	80
Массовое содержание монтмориллонита, %, не менее [Mass content of montmorillonite, %, not less]	12–20

Полевые испытания действия препаратов проводили на опытных участках площадью 20 м² в трех повторностях, расположенных рандомизированно на территории крестьянского фермерского хозяйства (КФК) Вертелецкого Н.В. Оренбургской области, Пономарёвского района, пос. Река Дёма. Почвы характеризовались как черноземы обыкновенные.

Варианты опыта: контроль (без внесения препаратов); цеолит; «Фитоп-Флора-С»; «Фитоп-Флора-С» + цеолит; «Флора-С»; «Флора-С» + цеолит. Внесение биопрепаратов и цеолитов в почвы проводили по рекомендациям производителей: для «Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» – 350 мл жидкого концентрата, для природных цеолитов – 6 кг на 100 м² увлажненной почвы. Усредненные образцы отобранных с экспериментальных участков почв сушили до воздушно-сухого состояния, просеивали.

В качестве биотеста использовали семена твердой яровой пшеницы (*Triticum durum*) сорта Безенчукская-205. Растения проращивали в стерильных стеклянных лабораторных стаканах на увлажненном почвенном субстрате. В каждый стакан высевали по 50 семян, опыт проводили в трех повторностях. Изменчивость в характере роста растений оценивали по трем морфометрическим признакам проростков: длина стебля, длина coleoptили, масса стебля. Учитывали число проросших семян для определения всхожести по стандартной методике. В анализе применили графическое описание распределения морфометрических признаков и сравнивали статистические параметры генеральной совокупности растений [Гарипова, 2009; Гарипова, Корнеева, 2014]. Для статистической обработки данных использовали *t*-критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Валидность метода выявляли при помощи метода ранговой корреляции по Спирмену между показателями массы семян, полученной в полевых испытаниях, и баллами по результатам биотестирования.

Ранжирование вариантов по количеству набранных баллов по признакам оптимизации графиков распределения и статистических параметров проводили по критериям: 1 – форма кривой распределения; 2 – предельные значения интервалов; 3 – среднее значение показателя; 4 – эксцесс распределения; 5 – асимметрия распределения; 6 – коэффициент вариации признака; 7 – всхожесть семян. При этом признаки оптимизации по вышеуказанным показателям выявляли относительно контрольных величин, балл добавлялся к сумме баллов по каждому критерию только в случае отклонения показателя в сторону улучшения признака; в противоположном случае – изменение не учитывалось.

Результаты и обсуждение

Фитоп-Флора-С и его комбинации с цеолитом

Графики фактического распределения по показателю – длина стебля – во всех вариантах характеризовались одновершинностью. Однако мы наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения признака в сторону меньших величин относительно контроля в вариантах: цеолит (от 324 в контроле до 225 мм), «Фитоп-Флора-С» + цеолит (до 269 мм), «Фитоп-Флора-С» (до 286 мм). Во всех вариантах выявлено статистически достоверное уменьшение средней длины стебля относительно контрольных величин на 8, 34 и 12% (рис. 1). Следовательно, фактор вызывал ингибирование линейного роста проростков. Коэффициент вариации относительно контроля в варианте цеолит не изменился, в вариантах «Фитоп-Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» + цеолит незначительно увеличился, вариабельность признака оценивалась как большая (более 21%). Значение эксцесса в варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит приблизилось к нулю, в вариантах цеолит и «Фитоп-Флора-С» имели положительные значения. Асимметрия во всех вариантах относительно контрольных значений отклонилось в сторону меньшей асимметрии. Таким образом, по данному показателю – длина стебля – во всех вариантах наблюдали тенденцию к стабилизирующему отбору в популяции, на фоне подавления линейного роста.

Графики фактического распределения по показателю – длина колеоптиля – во всех вариантах характеризовались одновершинностью. Наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения признака – длина стебля – в сторону меньших величин относительно контроля в варианте цеолит (от 106,6 в контроле до 85,6 мм), в варианте «Фитоп-Флора-С» (до 79,4 мм), в варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит (до 83,9 мм).

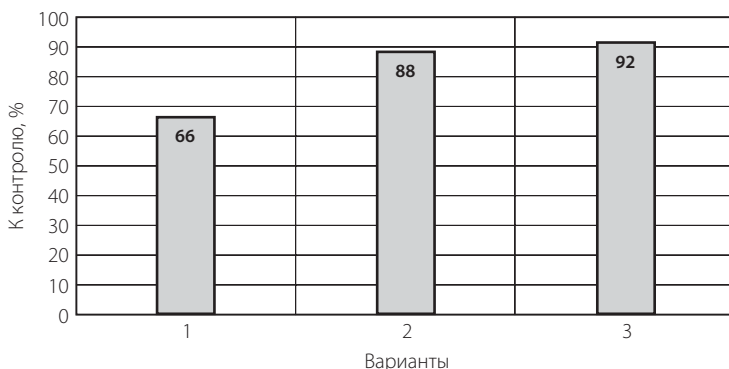


Рис. 1. Средняя длина стебля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 1. The average length of the stem to the control in options:
1 – zeolite; 2 – “Fitop-Flora-S”; 3 – “Fitop-Flora-S” + zeolite

Во всех вариантах выявлено статистически достоверное уменьшение длины coleoptily относительно контрольных величин на 14, 16 и 25%, т.е. фактор вызывает ингибирование линейного роста coleoptily (рис. 2). Коэффициент вариации в варианте цеолит и «Фитоп-Флора-С» + цеолит незначительно увеличился относительно контрольных величин, изменчивость признака в этих вариантах, так же как и в контроле, определена как большая вариабельность (более 21%), в варианте «Фитоп-Флора-С» коэффициент изменчивости уменьшился относительно контроля и вариабельность определена как значительная (более 11%). Значения эксцесса во всех вариантах имели положительные значения. Асимметрия кривых распределения во всех вариантах отклонялась в сторону больших величин, чем в контроле, трактовалась как крайне асимметричное распределение (более 0,5). Таким образом, по данному показателю – длина coleoptily – оптимизация условий роста проростков относительно контроля не выявлена, все испытанные препараты вызвали подавление линейного роста coleoptily.

Выявлено стимулирующее действие препарата Фитоп-Флора-С и его комбинации с природным цеолитом на формирование массы стебля, которое отразилось на диаграммах распределения существенным смещением интервалов фактического распределения признака – масса стебля относительно контроля вправо с увеличением крайних значений интервалов в варианте «Фитоп-Флора-С» (от 0,167 г в контроле до 0,180 г), в варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит (до 0,198 г), и с сокращением крайних значений интервалов в варианте цеолит (до 0,108 г относительно контроля).

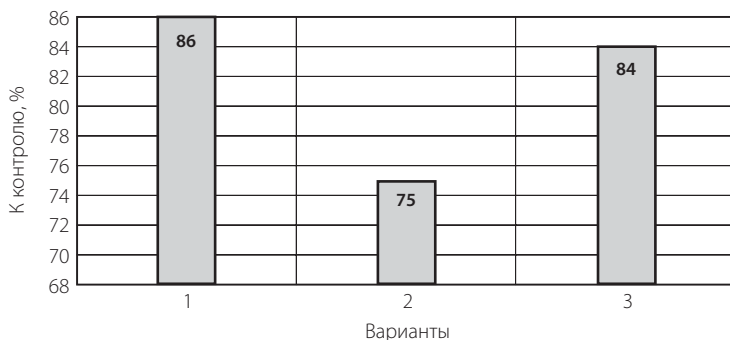


Рис. 2. Средняя длина coleoptilia к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 2. The average length of coleoptile to control in the options:
1 – zeolite; 2 – “Fitop-Flora-S”; 3 – “Fitop-Flora-S” + zeolite

Графики фактического распределения в вариантах «Фитоп-Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» + цеолит приняли уплощенную форму относительно контрольных кривых. В варианте контроль + цеолит наблюдали двухвершинность распределения, что свидетельствует о признаках дестабилизации популяции. В варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит выявлено статистически достоверное увеличение массы стебля на 10%, в варианте «Фитоп-Флора-С» изменений массы стебля в сторону увеличения или уменьшения не наблюдалось. Относительно контрольных величин в варианте цеолит было выявлено статистически достоверное сокращение массы стебля на 50% (рис. 3). Коэффициент вариации относительно контроля в варианте цеолит незначительно уменьшился, а в вариантах «Фитоп-Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» + цеолит увеличился, при этом все значения коэффициента вариации соответствуют значениям большой изменчивости (более 21%). Эксцесс в контроле отсутствует (менее 0,2), в вариантах цеолит и «Фитоп-Флора-С» + цеолит имел отрицательные значения и определяется как заметный, но небольшой (менее 1); в варианте «Фитоп-Флора-С» имел положительное значение. Значение асимметрии кривых распределения во всех вариантах относительно контроля менялись незначительно, оценивается как умеренная асимметрия в вариантах контроль, «Фитоп-Флора-С», «Фитоп-Флора-С» + цеолит; в варианте цеолит небольшая асимметрия (-0,14). Таким образом, по данному показателю оптимизация условий роста проростков выявлялась только в варианте «Фитоп-Флора-С».

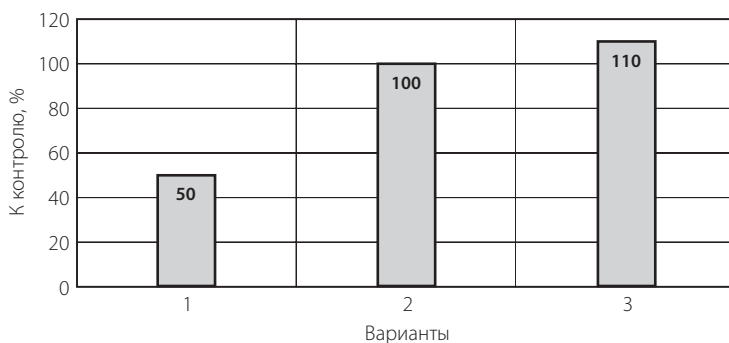


Рис. 3. Средняя масса стебля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 3. The average mass of the stem to control in the options:
1 – zeolite; 2 – "Fitop-Flora-S"; 3 – "Fitop-Flora-S" + zeolite

В целом по трем морфометрическим показателям в трех вариантах «Фитоп-Флора-С», «Фитоп-Флора-С» + цеолит, цеолит наблюдали статистически достоверное подавление линейного роста проростков, что отразилось в показателях средней длины стебля и колеоптиля; в варианте цеолит выявлено угнетение органообразования, что отслеживается на статистически значимых сокращениях значений всех трех показателей (табл. 2). По показателю «длина колеоптиля» оптимизация условий роста проростков не выявлена. F-критерий Фишера в предлагаемом тесте используется для подтверждения или отклонения стабилизирующего действия фактора. По показателю «длина стебля» в вариантах «Фитоп-Флора-С», «Фитоп-Флора-С» + цеолит, а также по показателю «масса стебля» в варианте «Фитоп-Флора-С» признаки стабилизирующего отбора, выявленные по графикам распределения и значениям эксцесса и асимметрии, не получили статистического подтверждения по F-критерию (табл. 2).

Значения всхожести относительно контроля во всех вариантах статистически не отличались (рис. 4). Сравнивая результаты морфогенетической оценки и всхожести семян относительно контроля, можно сделать заключение об отсутствии токсического действия почв, в которые вносились препараты «Фитоп-Флора-С» или его комбинации с цеолитом, а также о регуляторном действии изученных субстратов, ведущему к подавлению апикального доминирования в морфогенезе пшеницы, что может являться основой адаптивных реакций растений.

Таблица 2

Средние значения морфометрических показателей проростков
и критериев значимости их различий
в опыте с препаратом «Фитоп-Флора-С» и цеолитом
[Average values of morphometric indicators of seedlings
and criteria for the significance of their differences
in the experience with “Fitop-Flora-S” and zeolite]

Вариант [Option]	Длина стебля, мм [Stem length, mm]	Критерии [Criteria]		Длина колеоптиля, мм [Coleoptile length, mm]	Критерии [Criteria]		Масса стебля, г [The mass of the stem, g]	Критерии [Criteria]	
		t**	F***		t	F		t	F
Контроль [Option]	191,47 ± 8,60*	–	–	63,09 ± 2,31	–	–	0,10 ± 0,002	–	–
Цеолит [Zeolite]	125,55 ± 5,61	12,62	2,42	54,19 ± 2,64	4,41	1,28	0,05 ± 0,002	22,36	1
«Фитоп-Флора-С» [“Fitop-Flora-S”]	167,78 ± 8,57	3,83	1,0	47,63 ± 1,58	9,02	3,48	0,10 ± 0,006	0	1
«Фитоп-Флора-С» + цеолит [“Fitop-Flora-S” + zeolite]	178,63 ± 8,83	2,30	0,87	50,78 ± 2,00	4,49	0,76	0,11 ± 0,004	2,24	2

* Доверительные интервалы среднего значения при $p = 0,05$; ** $t_{\text{табл}} = 1,96$; *** $F_{\text{табл}} = 1,21$.

[* Confidence intervals of the average value at $p = 0,05$; ** $t_{\text{table}} = 1,96$; *** $F_{\text{table}} = 1,21$.]

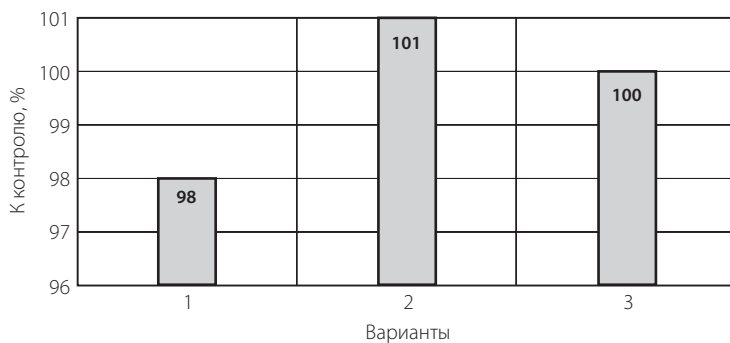


Рис. 4. Всхожесть семян в вариантах:

1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 4. Seed germination in options:

1 – zeolite; 2 – “Fitop-Flora-S”; 3 – “Fitop-Flora-S” + zeolite

Флора-С и его комбинации с цеолитом

Графики фактического распределения по показателю «длина стебля» характеризовались одновершинностью во всех вариантах. При этом наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения во всех вариантах относительно контроля в сторону больших величин в вариантах цеолит (от 239 в контроле до 282 мм), «Флора-С» (до 292 мм), «Флора-С» + цеолит (до 264 мм). Во всех вариантах выявлено статистически достоверное увеличение средней длины стебля относительно контрольных величин на 9, 14 и 22% (рис. 5). Коэффициент вариации во всех вариантах характеризовался как большая степень изменчивости (более 21%). Относительно контрольных значений вариабельность оказалась выше в вариантах «Флора-С» (на 8%), цеолит (на 6%). В варианте «Флора-С» + цеолит вариабельность не изменилась. Экссесс практически отсутствовал в вариантах цеолит, «Флора-С» + цеолит (менее 0,2), в варианте «Флора-С» характеризовался как небольшой, но заметный (менее 1), в контроле – небольшой (менее 0,5). Асимметрия слабая отмечалась в варианте «Флора-С» + цеолит. В остальных вариантах выявлена умеренная асимметрия. По данному показателю (длина стебля) наблюдали стимуляцию стеблевого органогенеза относительно контроля во всех вариантах; оптимизация условий культивирования по графикам распределения и по значениям эксцесса и асимметрии выявлена в варианте «Флора-С» + цеолит.

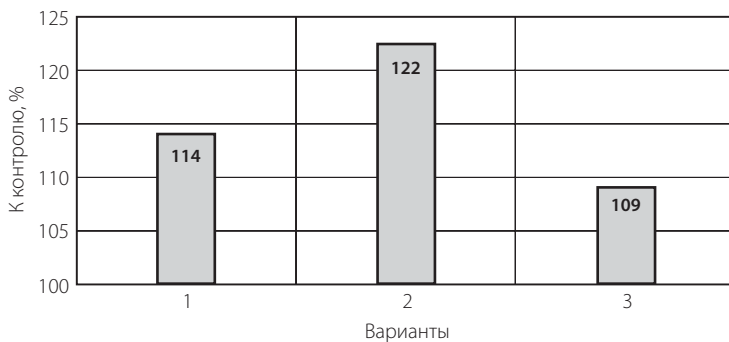


Рис. 5. Средняя длина стебля к контролю в вариантах:

1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 5. The average length of the stem to the control in the options:

1 – zeolite; 2 – “Flora-S”; 3 – “Flora-S” + zeolite

Графики фактического распределения по показателю «длина колеоптиля» характеризовались одновершинностью во всех вариантах. При этом наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения во всех вариантах относительно контроля в сторону больших величин в вариантах цеолит (от 88,7 в контроле до 96,4 мм), «Флора-С» (до 103,7 мм) и незначительно в варианте «Флора-С» + цеолит (до 96,8 мм). В вариантах «Флора-С» + цеолит и «Флора-С» выявлено статистически достоверное увеличение длины колеоптиля на 9 и 15% относительно контроля, в варианте цеолит длина колеоптиля сократилась более чем на 6% (рис. 6).

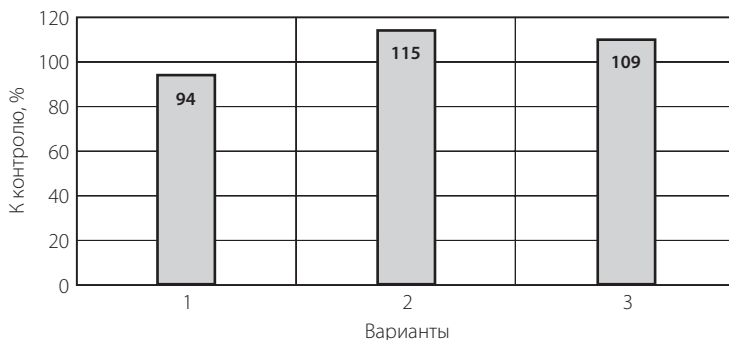


Рис. 6. Средняя длина колеоптиля к контролю в вариантах:

1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 6. The average length of the coleoptile to control in the options:

1 – zeolite; 2 – “Flora-S”; 3 – “Flora-S” + zeolite

Коэффициент вариации во всех вариантах был идентичен контролю или изменялся незначительно ($\pm 4\%$). Экссесс практически отсутствовал в варианте «Флора-С» + цеолит, цеолит (менее 0,2), в варианте «Флора-С» имел положительное значение. В контроле экссесс характеризовался как небольшой, но заметный. Слабая асимметрия выявлена в варианте цеолит и в контроле (менее 0,25); умеренная асимметрия – в варианте «Флора-С» + цеолит (менее 0,5); крайне асимметричное распределение – в варианте «Флора-С» (более 0,5). Таким образом, по данному признаку (длина колеоптиля) стимуляция роста колеоптиля выявлена в вариантах «Флора-С», «Флора-С» + цеолит, дестабилизации органогенеза не выявлено. Признаки оптимизации условий культивирования по графикам распределения, значениям экссесса и асимметрии выражены в варианте цеолит.

Графики фактического распределения по показателю «масса стебля» во всех вариантах характеризовались одновершинностью и некоторой уплощенностью. При этом наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения во всех вариантах относительно контроля в сторону больших величин в вариантах цеолит (от 0,119 в контроле до 0,148 г), «Флора-С» (до 0,139 г) и «Флора-С» + цеолит (до 0,128 г). В варианте цеолит выявлено статистически достоверное увеличение массы стебля на 14%, в варианте «Флора-С» + цеолит среднее значение массы стебля сократилось на 14%. Изменений в варианте «Флора-С» относительно контроля не наблюдалось (рис. 7). Коэффициент вариации во всех вариантах относительно контроля увеличился, что свидетельствует о повышении чувствительности растений к факторам среды. Относительно контроля в варианте «Флора-С» экссесс приобрел положительное значение, в остальных вариантах существенно не менялся и соответствует небольшому, но заметному экссессу. Относительно контрольных значений асимметрия в варианте «Флора-С» отклонилась в сторону большей асимметрии, в вариантах цеолит и «Флора-С» + цеолит снизилась, но незначительно, соответствует умеренной асимметрии. По графикам, экссессу и асимметрии оптимизация значений в данных вариантах не выявлена. По данному показателю (масса стебля) стимуляция формирования фотосинтезирующей массы выявлена в варианте цеолит, масса не изменилась или сократилась в вариантах с внесением препарата «Флора-С»; признаков оптимизации к условиям культивирования не выявлено.

В целом по трем морфометрическим показателям в вариантах «Флора-С», «Флора-С» + цеолит наблюдали усиление линейного роста проростков. По показателю «длина стебля» наблюдали статистически

значимую стимуляцию стеблевого органогенеза относительно контроля во всех вариантах по t -критерию (табл. 3), выявлена статистически значимая оптимизация условий культивирования по графикам распределения и по значениям эксцесса и асимметрии, а также по F -критерию в варианте «Флора-С» + цеолит; по показателю «длина колеоптиля» выявлена статистически значимая стимуляция роста колеоптиля в вариантах «Флора-С», «Флора-С» + цеолит (см. табл. 3) и не выявлены признаки дестабилизации органогенеза; по показателю «масса стебля» статистически значимая стимуляция выявлена в варианте цеолит. По F -критерию удалось определить статистическую значимость изменчивости длины стебля относительно контроля во всех опытных вариантах; по длине колеоптиля и массе стебля статистически значимые различия в дисперсиях признака не выявлены.

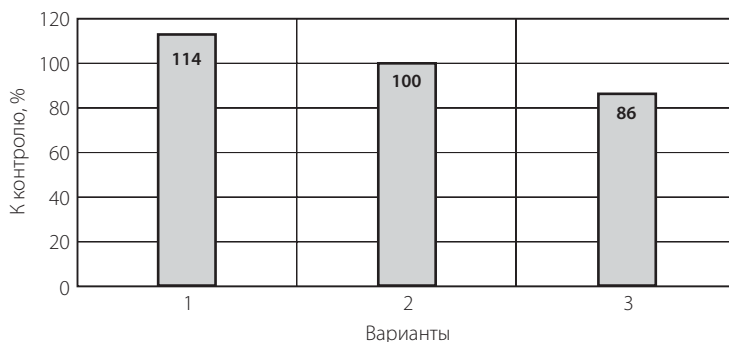


Рис. 7. Средняя масса стебля к контролю в вариантах:

1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 7. The average mass of the stem to control in the options:

1 – zeolite; 2 – “Flora-S”; 3 – “Flora-S” + zeolite

Средние значения всхожести семян пшеницы сорта Безенчукская 205 в вариантах «Флора-С» + цеолит, цеолит были значительно снижены относительно контроля на 8 и 12% соответственно (рис. 8).

Сравнивая результаты морфогенетической оценки и всхожести семян относительно контроля, можно сделать заключение о том, что почвы, в которые вносили цеолит или препарат «Флора-С» совместно с цеолитом, сочетали токсическое действие со стимулирующим линейный рост проростков, которое сопровождалось снижением фотосинтезирующей массы проростков, что свидетельствует о регуляторном действии изученных субстратов, ведущему к усилению апикального доминирования в морфогенезе пшеницы.

Таблица 3

Средние значения морфометрических показателей проростков и критериев значимости их различий в опыте с препаратом «Флора-С» и цеолитом [Average values of morphometric indicators of seedlings and criteria for the significance of their differences in the experience with the preparation "Flora-S" and zeolite]

Вариант [Option]	Длина стебля, мм [Stem length, mm]	Критерии [Criteria]		Длина coleoptile, мм [Coleoptile length, mm]	Критерии [Criteria]		Масса стебля, г [The mass of the stem, g]	Критерии [Criteria]	
		t	F		t	F		t	F
Контроль [Option]	131,61 ± 5,46	–	–	49,56 ± 2,45	–	–	0,07 ± 0,002	–	–
Цеолит [Zeolite]	149,44 ± 8,24	3,54	2,10	45,85 ± 2,42	1,68	1,07	0,08 ± 0,002	3,54	1
«Флора-С» [“Flora-S”]	159,91 ± 9,28	5,21	2,65	56,91 ± 2,79	3,89	1,19	0,07 ± 0,001	0	1
«Флора-С» + цеолит [“Flora-S” + zeolite]	142,95 ± 6,56	2,64	1,21	54,22 ± 2,48	2,63	0,87	0,06 ± 0,002	3,54	1

* Доверительные интервалы среднего значения при $p = 0,05$; ** $t_{\text{табл}} = 1,96$; *** $F_{\text{табл}} = 1,21$.

† Confidence intervals of the average value at $p = 0,05$; ** $t_{\text{table}} = 1,96$; *** $F_{\text{table}} = 1,21$.]

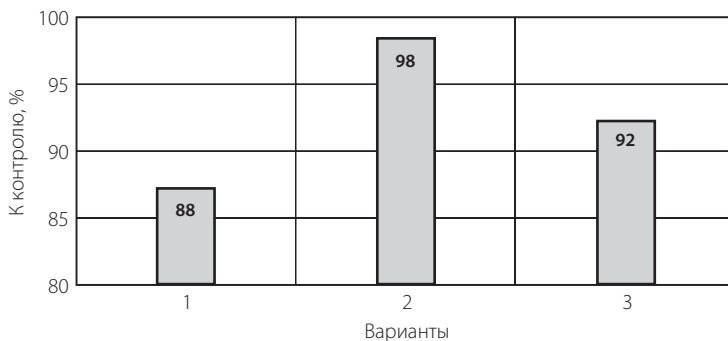


Рис. 8. Всхожесть семян в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 8. Seed germination in options:
1 – zeolite; 2 – “Flora-S”; 3 – “Flora-S” + zeolite

Схема интерпретации результатов, примененная для проведения ранжирования вариантов по результатам фитотестирования, представлена в табл. 5.

Ранжирование вариантов по количеству набранных баллов по признакам оптимизации графиков распределения и статистических параметров показало преимущество следующих вариантов относительно контроля: «Фитоп-Флора-С», «Флора-С», «Флора-С» + цеолит, цеолит (табл. 6).

Валидность метода определялась по корреляции результатов полевых и лабораторных испытаний. По итогам вычисления ранговой корреляции по Спирмену между признаками «сумма баллов по результатам фитотестирования» и «масса зерна, полученная в полевом опыте», получена положительная высокая зависимость. Пример проведения корреляционного анализа показан в табл. 7.

Заключение

По итогам проведенного эксперимента по апробации нового метода биотестирования на основе тест-объекта пшеницы твердой *Triticum durum* сорта Безенчукская-205 показана эффективность применения лабораторных методов экспресс-диагностики влияния биопрепаратов на ростовые процессы растений. Метод перспективен для предварительной оценки токсического или адаптогенного действия новых препаратов сельскохозяйственного значения, внедряемых в агротехнологии, и представляет ценность как способ выделения факторов оптимизации агрофитоценозов и целенаправленного моделирования агроэкосистем.

Принцип анализа графиков и статистических показателей
[The principle of analysis of graphs and statistical indicators]

Критерии	Выводы	Пояснения
<p>Форма кривой распределения относительно контроля:</p> <p>а) односторонние;</p> <p>б) двусторонние, углощенные, многовершинные</p>	<p>Фактор вызывает:</p> <p>а) стабилизирующий отбор;</p> <p>б) дивергентный или селективный отбор</p>	<p>Оптимизация условий культивирования растений происходит при стабилизирующем отборе в популяции. Дивергентный или селективный отбор свидетельствуют о наличии лимитирующего фактора, разрушающего генофонд популяции</p>
<p>Предельные значения интервалов изменяются:</p> <p>а) в сторону возрастания</p> <p>б) в сторону убывания</p>	<p>Фактор вызывает:</p> <p>а) стимуляцию ростовых процессов;</p> <p>б) ингибирование ростовых процессов</p>	<p>Стимуляция ростовых процессов растений может свидетельствовать о способности испытуемых препаратов усиливать органогенез на основе повышения скорости клеточного деления или в результате детоксикации среды. Ингибирование ростовых процессов возникает при токсическом или регуляторном действии вещества. Для выявления регуляторного действия фактора сравнивают соотношение показателей массы и длины стебля относительно этих соотношений в контроле</p>
<p>Среднее значение показателей длины стебля, колеоптиля, массы стебля изменяются:</p> <p>а) в сторону возрастания;</p> <p>б) в сторону убывания</p>	<p>Фактор вызывает:</p> <p>а) стимуляцию ростовых процессов;</p> <p>б) ингибирование ростовых процессов</p>	<p>Стимуляция или ингибирование ростовых процессов подтверждаются сравнением средних значений показателей для выявления статистической достоверности различий по <i>t</i>-критерию Стьюдента</p>
<p>Экспесс-распределение изменяется относительно контрольных значений:</p> <p>а) приближается к нулю, приобретает положительные значения;</p> <p>б) приобретает отрицательные значения</p>	<p>Фактор вызывает:</p> <p>а) стабилизирующий отбор;</p> <p>б) дивергентный или селективный отбор</p>	<p>Оптимизация условий культивирования подтверждается, если эксцесс в контроле менее $-0,2$ или приобретает положительные значения. Характеризуются как умеренный (при значениях от $-0,2$ до $-0,4$); небольшой (от $0,5$ до -1); существенный (более -1); недопустимый для однородной популяции (-2 и большие величины отрицательных значений)</p>

Окончание табл. 5

Критерии	Выводы	Пояснения
<p>Асимметрия распределения изменяется относительно контрольных значений:</p> <p>а) приближается к нулю;</p> <p>б) отклоняется в сторону большей асимметрии</p> <p>Коэффициент вариации признака изменяется относительно контрольных значений:</p> <p>а) в сторону возрастания;</p> <p>б) в сторону убывания</p>	<p>Фактор вызывает:</p> <p>а) стабилизирующий отбор;</p> <p>б) дивергентный или селективный отбор</p> <p>Фактор:</p> <p>а) повышает чувствительность популяции к факторам среды (сенситивизацию)</p> <p>б) не вызывает сенситивизацию к факторам среды</p>	<p>При стабилизирующем отборе значения асимметрии приближаются к нулю относительно контроля, при дивергентном или селективном отборе асимметрия усиливается: $A_s < 0,25$ – слабая асимметрия; $A_s = -0,25-0,5$ – умеренная асимметрия; $A_s > 0,5$ – крайне асимметричное распределение</p> <p>При оптимизации условий культивирования варибельность признаков снижается, что является признаком стабилизирующего влияния фактора на популяцию. Градация для анализа коэффициента вариации: до 5% – слабая изменчивость; 6–10% – умеренная; 11–20% – значительная; 21–50% – большая; более 50% – очень большая.</p> <p>F-критерий Фишера используется для подтверждения или отклонения стабилизирующего действия фактора</p>

Таблица 6

**Пример ранжирования вариантов по количеству набранных баллов
по результатам фитотестирования**
[Example of ranking options according to the number
of points scored according to the results of phytotesting]

Варианты [Options]	Критерии [Criteria]*	Длина стебля [Stem length]					Длина coleoptile [Coleoptile length]					Масса стебля [The mass of the stem]						Всхожесть [Germination]	Σ				
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4			5	6		
«Фитоп-Флора-С» [“Fitop-Flora-S”]		1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	12
«Фитоп-Флора-С» + цеолит [“Fitop-Flora-S” + zeolite]		1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	9
«Флора-С» [“Flora-S”]		1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	13
«Флора-С» + цеолит [“Flora-S” + zeolite]		1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	13
Цеолит [Zeolite]		1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	12

* Критерии: 1 – форма кривой распределения; 2 – предельные значения интервалов; 3 – среднее значение показателя; 4 – эксцесс распределения; 5 – асимметрия распределения; 6 – коэффициент вариации признака. []

Таблица 7

**Значения ранговой корреляции по Спирмену между признаками
«сумма баллов по результатам фитотестирования» и «масса зерна, полученная в полевом опыте»**
[The values of the rank correlation according to Spearman between the signs
“the sum of points according to the results of phytotesting”
and “the mass of grain obtained in the field experiment”]

Варианты [Options]	Σ баллов по результатам фитотестирования [Σ points according to the results of phytotesting]			Масса зерна, полученная по результатам полевых испытаний [Grain mass obtained from field tests]		
	Повторности [Repetitions]			Повторности [Repetitions]		
	1	2	3	1	2	3
«Флора-С» [“Flora-S”]	13 (1,5)*	12 (1,5)	13 (1,5)	554 (1)	407(2)	420 (1)
«Флора-С» + цеолит [“Flora-S” + zeolite]	13 (1,5)	12 (1,5)	13 (1,5)	436 (2)	440 (1)	417 (2)
Цеолит [Zeolite]	12 (3,5)	11 (3,5)	12 (3,5)	246 (4)	402 (3)	355 (5)
«Фитоп-Флора-С» [“Fitop-Flora-S”]	12 (3,5)	11 (3,5)	12 (3,5)	267(3)	351 (4)	398 (3)
«Фитоп-Флора-С» + цеолит [“Fitop-Flora-S” + zeolite]	9 (5)	7 (5)	8 (5)	237 (5)	305 (5)	374 (4)

Среднее значение корреляции [The average value of the correlation]	0,90
Достоверность коэффициента корреляции [Reliability of the correlation coefficient]	1,80
t-критерий при $p \geq 99\%$ [t-criterion at $p \geq 99\%$]	5,84

В скобках указаны ранги, использованные при вычислении ранговой корреляции по Спирмену.
[The brackets indicate the ranks used in calculating the Spearman rank correlation.]

По результатам проведенной исследовательской работы можно сделать следующие выводы.

1. Анализ корреляции между результатами лабораторных данных и полевых испытаний показал высокую валидность изученного метода фитотестирования, что позволяет использовать его для прогнозирования эффективности применения препаратов в сельскохозяйственном производстве. Корреляция между значениями суммы баллов по результатам фитотестирования и массой зерна, полученной в полевом опыте, характеризовалась как высокая и составляла 0,9.

2. Варианты «Флора-С», «Флора-С» + цеолит, цеолит, «Фитоп-Флора-С» выделены как перспективные для внедрения в агротехнологии возделывания яровой пшеницы, т.к. по данным фитотестирования на способность оптимизировать условия культивирования растений эти варианты показали наивысшие баллы (12–13 из 19 возможных).

Библиографический список / References

Гарипова Р.Ф. Анализ эффектов последействия в фитотестах при микроэлементном загрязнении окружающей среды // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 2. С. 305–308. [Garipova R.F. Aftereffect analysis in phytotests of environment polluted with microelements. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2009. № 2. Pp. 305–308.]

Гарипова Р.Ф. Метод биотестирования вод, почв, подверженных техногенному загрязнению // Проблемы региональной экологии. 2009. № 5. С. 112–117. [Garipova R.F. Method for biological testing of pollutions of water, soil. *Problemy regionalnoj ekologii*. 2009. № 5. Pp. 112–117.]

Гарипова Р.Ф., Корнеева Ю.А. Прогнозирование экологической безопасности применения химических и биологических фунгицидов при возделывании пшеницы на учебно-опытном поле ОГАУ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4. С. 153–158. [Garipova R.F., Korneeva Yu.A. Prediction of ecological safety of chemical and biological fungicides application in wheat cultivation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. № 4. Pp. 153–158.]

Косачев И.А. Оценка влияния препаратов «Флора-С», «Фитоп-Флора-С» и анолита АНК на патогенную микрофлору почв в питомнике при выращивании саженцев облепихи // Агроэкология. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (111). С. 29. [Kosachev I.A. Evaluation of the effect of fertilizers “Flora C”, “Phytop-Flora C” and anolyte ANK on pathogenic soil microflora in a nursery when growing sea-buckthorn seedlings. *Agroekologiya. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. № 1 (111). Pp. 029–033.]

Мельников С.П., Колесников Л.Е. Базыкина А.Н. Влияние препаратов на основе гуминовых веществ и серебра на элементы структуры урожайности и устойчивость яровой мягкой пшеницы к болезням // Известия Санкт-

Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 43. С. 67–75. [Melnikov S.P., Kolesnikov L.E. Bazykina A.N. The impact of drugs on the basis of humic substances and silver elements on the structure and stability of yields of spring wheat disease. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. № 43. Pp. 67–75.]

Применение природных цеолитов в сельском хозяйстве / Резникова В.И., Болякина Г.К., Соколова Н.А. и др. М., 2007. Деп. в ВИНТИ. ГРНТИ 34.39.57; 341.39.57.93.07.23. [Reznikova V.I., Bolyakina G.K., Sokolova N.A. et al. Application of natural zeolites in agriculture. Moscow, 2007. Deposited manuscript, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information RAS. 34.39.57; 341.39.57.93.07.23.]

Способ повышения плодородия почвы. Пат. РФ 2259032 / Худяков А.В., Сухотина Е.А., Клевайчук Н.И. и др. 23.03.2004. [The way to improve soil fertility. RF patent 2259032. Hudayakov A.V., Suhotina E.A., Klevajchuk N.I. et al. 23.03.2004.]

Структура и функции бактериальных сообществ в агроценозе / Добровольская М., Хуснетдинова К.А., Манучарова Н.А., Балабко П.Н. // Почвоведение. 2016. № 1. С. 79–86. [Dobrovolskaya M., Husnetdinova K.A., Manucharova N.A., Balabko P.N. The structure and functions of bacterial communities in agrocnosis. *Pochvovedenie*. 2016. № 1. Pp. 79–86.]

Сухой торфо-гуминовый препарат и способ его получения. Пат. РФ 0002543811 / Боярский Н.М. 10.03.2015. [Dry peat-humic preparation and method for preparing it. RF patent 0002543811. Boyarskiy N.M. 10.03.2015.]

Чертов О.Г., Комаров А.С. Теоретические подходы к моделированию динамики содержания органического вещества почв // Почвоведение. 2013. № 8. С. 937–946. [Chertov O.G., Komarov A.S. Theoretical approaches to modelling the dynamics of soil organic matter. *Pochvovedenie*. 2013. № 8. Pp. 937–946.]

Статья поступила в редакцию 20.02.2019, принята к публикации 1.04.2019

The article was received on 20.02.2019, accepted for publication 1.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Гарипова Розалия Фановна – доктор биологических наук; профессор кафедры агротехнологий, ботаники и селекции растений, Оренбургский государственный аграрный университет

Rosalia F. Garipova – Dr. Biol. Hab.; professor at the Department of Agricultural Technology, Botany and Plant Breeding, Orenburg State Agrarian University

ORCID: 0000-0002-8431-5661

E-mail: garipova-r@yandex.ru

Столповских Александра Евгеньевна – аспирант кафедры агротехнологий, ботаники и селекции растений, Оренбургский государственный аграрный университет

Alexandra E. Stolpovsky – PhD student at the Department of Agricultural Technology, Botany and Plant breeding, Orenburg State Agrarian University

E-mail: stolpovskih3355@bk.ru

Заявленный вклад авторов

Р.Ф. Гарипова – общее руководство исследованием, участие в подготовке текста статьи, анализ данных, подготовка рисунков и таблиц

А.Е. Столповских – обзор данных по исследованиям моделирования продуктивной агроэко системы, подготовка текста статьи, участие в подготовке рисунков и таблиц

Contribution of the authors

R.F. Garipova – general management of the research, participation in the preparation of the text of the article, data analysis, preparation of figures and tables

A.E. Stolpovskikh – review of data on studies of modeling a productive agroecosystem, preparation of the text of the article, participation in the preparation of figures and tables

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-201-227

**Ф.А. Маслов¹, Е.И. Курченко², И.М. Ермакова²,
Н.С. Сугоркина², В.Г. Петросян³**

¹ Средняя общеобразовательная школа 1501,
127055 г. Москва, Российская Федерация

² Московский государственный педагогический университет,
119991 г. Москва, Российская Федерация

³ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
19071 г. Москва, Российская Федерация

Особенности динамики жизненных форм травянистых растений луговых сообществ национального парка «Угра» при разных условиях антропогенного воздействия на основе данных многолетнего мониторинга

Представлен анализ влияния антропогенных условий на динамику жизненных форм луговых растений с использованием индексов среднего количества и стабильности жизненных форм на основе данных многолетнего мониторинга Залидовских лугов Калужской области. Показано, что регулярное сенокосное использование приводит к увеличению стержнекорневых растений и обилию малоценных в хозяйственном отношении видов. При регулярном умеренном выпасе увеличивается количество длиннокорневищных жизненных форм и повышается обилие высокоценных видов растений. Установлено, что для рационального использования Залидовских лугов следует чередовать сенокосный и пастбищный режимы. Обсуждаются вопросы применимости используемых индексов для выявления общих тенденций развития лугового сообщества в зависимости от антропогенного воздействия.

Ключевые слова: индексы среднего количества жизненных форм, стабильности жизненных форм, мониторинг лугов, антропогенное воздействие, луговые сообщества, жизненные формы растений.



ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Маслов А.Ф., Курченко Е.И., Ермакова И.М., Сугоркина Н.С., Петросян В.Г. Особенности динамики жизненных форм травянистых растений луговых сообществ национального парка «Угра» при разных условиях антропогенного воздействия на основе данных многолетнего мониторинга // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 201–227. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-201-227.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-201-227

**F.A. Maslov¹, E.I. Kurchenko², I.M. Ermakova²,
N.S. Sugorkina², V.G. Petrosyan³**

¹ Secondary school 1501,
Moscow, 127055, Russian Federation

² Moscow State Pedagogical University,
Moscow, 119991, Russian Federation

³ Severtsov Institute of Ecology and Evolution,
Russian Academy of Sciences,
Moscow, 119991, Russian Federation

Features of the dynamics of the herbal plants life forms of the meadow communities of the Ugra National Park at the different conditions of anthropogenic impact on the basis of permanent monitoring

The article presents the analysis of the influence of anthropogenic conditions on the dynamics of life forms of meadow plants using the indices of the average number and stability of life forms based on data from long-term monitoring of Zalidov meadows of Kaluga region. It is shown that regular mowing leads to an increase in rod-root plants and an abundance of economically insignificant species.

With regular moderate grazing, the number of long root-growing life forms increases, and the abundance of high-value plant species increases. It has been established that for rational use of Zalidov meadows, haying and pasture regimes

should be alternated. The issues of the applicability of the indices used to identify general trends in the development of the meadow community depending on anthropogenic impact are discussed.

Key words: indices of the average number of life forms, stability of life forms, monitoring, anthropogenic impact, meadow communities, plant life forms.

CITATION: Maslov F.A., Kurchenko E.I., Ermakova I.M., Sugorkina N.S., Petrosyan V.G. Features of the dynamics of the herbal plants life forms of the meadow communities of the Ugra National Park at the different conditions of anthropogenic impact on the basis of permanent monitoring. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 201–227. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-201-227.

В настоящее время наблюдаются серьезные изменения во флористическом составе и функционировании различных фитоценозов под влиянием антропогенных факторов. В связи с этим необходимо глубокое и всестороннее их изучение для составления прогнозов и рекомендаций по сохранению флористического разнообразия и рациональному использованию. Современные средства информационных технологий с применением количественных методов анализа многолетних геоботанических описаний позволяют эффективно оценивать изменения, происходящие в растительных сообществах, и моделировать их развитие.

В России луга занимают значительные площади сельскохозяйственных земель (320 млн га), но в связи с их нерациональным использованием в последние десятилетия сократились площади, падает продуктивность и обедняется флористический состав [Убушаев, Скиданов, Бадмаев, 2011], что обуславливает важность разработки научно обоснованных рекомендаций по режиму их использования. Для решения этой задачи применительно к лугам средней полосы России перспективен комплексный анализ многолетних данных геоботанических описаний лугов современными методами информационной технологии, статистического анализа и количественных методов оценки параметров разнообразия. Среди существующих подходов к оценке последних наиболее часто применяются как простые индексы видового богатства, так и сложные. Из них наибольшую популярность получили индексы альфа-разнообразия [Мегарран, 1992]. Значения этих индексов зависят от многих факторов и позволяют выявлять общие тренды видового богатства во времени [Петросян, 2000]. Но для определения динамики видового состава растительных сообществ, мало изменяемого во времени, этих индексов оказывается недостаточно. Как показал наш опыт, в этом случае более перспективна оценка динамики таксонов разного

ранга с помощью индексов стабильности таксономического своеобразия и разнообразия.

Метод был применен Ф.А. Масловым [Маслов и др., 2017а, б] при исследовании динамики растительных сообществ на шести постоянных пробных площадках Залидовских пойменных лугов Калужской области национального парка «Угра». Участки находились в разных частях поймы (прирусловый вал, центральная часть поймы) и отличались режимом хозяйственного использования:

- 1) постоянный все годы мониторинга сенокос;
- 2) выпас молодняка крупного рогатого скота;
- 3) смешанный – смена режимов использования (сенокосение в течение нескольких лет, затем выпас по отаве).

Для анализа были использованы данные мониторинга И.М. Ермаковой и Н.С. Сугоркиной [Ермакова, Сугоркина, 2016]. С помощью упомянутых выше индексов ранее выявлены существенные различия в динамике таксонов на сенокосной и выпасаемой площадках, в отличие от остальных площадок со смешанным использованием. На сенокосных площадках наблюдалось большее участие видов из родственных таксонов, а на пастбищных площадках выше участие видов из неродственных таксонов.

Продолжая анализ динамики компонентов Залидовских лугов по данным многолетнего мониторинга, было решено проследить динамику жизненных форм травянистых растений под воздействием антропогенных факторов. В отечественной литературе мы не нашли работ, посвященных обработке многолетних данных динамики жизненных форм травянистых растений с использованием математических методов, поэтому считаем, что данная работа по оригинальной методике выполнена впервые.

Жизненные формы растений, их доминирование и соотношения в растительных сообществах играют, по сути, главенствующую роль в жизни ценоза, и для понимания функционирования ценоза знание их состава, в целом, важнее по сравнению со знанием видового состава. Эта мысль была высказана Д.Н. Кашкаровым [Кашкаров, 1938] еще в середине XX в. Позднее процентному составу жизненных форм как важнейшей характеристике растительности были посвящены многие работы [Голубев, 1974; Полозова, 1983; Безделев, 2001; Егорова, 2004; Ермакова, Сугоркина, 2005; Чибрик и др., 2007; Андреева, 2010; Гатцук, 2010 и др.].

Термин «жизненная форма» («life form») является синонимом двух понятий – «биологические типы» Х. Раункиера [Raunkiaer, 1905]

и «жизненные формы» И.Г. Серебрякова [Серебряков, 1962]. Х. Раункиер разработал оригинальную концепцию «биологических типов» растений по расположению почек возобновления относительно поверхности земли как важному приспособительному признаку растений к перенесению неблагоприятных условий жизни (зимних температур в высоких широтах и легкой засухи в аридных областях), обосновав 5 известных типов. Ему принадлежит идея «биологических спектров», построенных на количественном соотношении «биологических типов» во флоре конкретных территорий, которые выступают как индикаторы климата. В целом Раункиера интересовали большие природные зоны, относящиеся к разным климатическим поясам, а не отдельные экосистемы или конкретные ценозы [Шорина, 2010].

Огромный вклад в разработку учения о «жизненных формах» внес И.Г. Серебряков, который впервые к их изучению применил системный подход [Шафранова, Гатцук, Шорина, 2009]. Серебряков использовал идеи Раункиера, но объектом его изучения послужили не «биологические типы», а жизненные формы растений, которые он понимал как «габитус, связанный с ритмом развития и приспособленный к современным и прошлым условиям среды» [Серебряков, 1972, с. 86]. «Жизненные формы» (ЖФ) Серебряков воспринимал как явление эволюционное эколого-фитоценоотическое, и спектры жизненных форм отдельных ценозов могут отражать экологическую обстановку на конкретном участке [Гатцук, 2010]. В настоящее время в ботанике сформировалась новая дисциплина – биоморфология – учение о жизненных формах. Известны разные классификации жизненных форм травянистых растений в зависимости от целей авторов, мы в данной статье традиционно принимаем во внимание системы подземных органов растений [Серебряков, 1962].

Известно, что наиболее сильное воздействие на видовой состав луговых сообществ оказывают бессистемный сенокос и выпас, которые достаточно полно раскрыты в работах С.П. Смелова [Смелов, 1966], Т.А. Работнова [Работнов, 1984] и др., но информации о влиянии сенокосного и пастбищного режима на жизненные формы травянистых растений недостаточно. Л.М. Морозова, изучая влияние выпаса мелкого рогатого скота на флористический состав степных сообществ Южного Урала в районе Губерлинского мелкосопочника, выявила тенденцию уменьшения участия в травостоях дерновинных злаков и многолетнего разнотравья и увеличение фитоценоотической роли однолетников [Морозова, 1991]. И.М. Ермакова и Н.С. Сугоркина, проводя анализ жизненных форм Залидовских лугов, выделили 13 групп жизненных форм средневозрастных растений по особенностям корневой системы,

продолжительности жизни и проследили влияние антропогенных факторов на участие каждой жизненной формы в спектре, на число жизненных форм и их состав [Ермакова, Сугоркина, 2011, 2017]. Но эти данные не обрабатывались методами статистики и имеют описательный характер.

Цель данной работы – выявить влияние разных режимов хозяйственного использования на состав жизненных форм растений Залидовских лугов. Для анализа использованы методы определения индексов среднего количества жизненных форм ($N_{жФ}$) и стабильности жизненных форм ($IS_{жФ}$).

Материалы и методы

Общая характеристика района исследования

Район исследования – Залидовские луга в пойме р. Угры (приток р. Оки) в Калужской области (54°60' с. ш., 36°00' в. д.). В наиболее широком месте пойменные луга имеют протяженность до 8 км. Их общая площадь около 1000 га. В 1990 г. Залидовские луга получили статус особо охраняемой территории местного значения, а в 1997 г. вошли в состав Национального парка «Угра», который с 2002 г. стал особо охраняемой зоной – биосферным резерватом ЮНЕСКО. Луга характеризуются хорошей сохранностью, связанной с умеренным хозяйственным использованием и отдаленностью от жилья. Они насчитывают более 250 видов травянистых растений. На этих лугах И.М. Ермакова и Н.С. Сугоркина в течение 1965–2012 г. провели многолетний мониторинг динамики растительности – уникальный в мировом масштабе по длительности наблюдений естественных ценозов. Его результаты представлены в четырехтомной монографии «Мониторинг растительности Залидовских лугов Калужской области» [Ермакова, Сугоркина, 2016, 2017].

Мониторинг включал ежегодные геоботанические описания на постоянных площадках 100 м² с оценкой общего проективного покрытия, видового состава и состава жизненных форм, покрытия и обилия каждого вида по шкале Друде–Уранова [Уранов, 1964]. Описания проводили в период максимального цветения луговых растений (конец июня – начало июля). Общая база данных геоботанических описаний Залидовских лугов была создана в виде набора реляционных таблиц в среде информационной системы «Biosystem-96» [Петросян, 1996].

Согласно эколого-флористической классификации растительность относится к классу Molinio-Arrhenatheretea, порядку Arrhenatheretalia, союзу Festucion pratensis suball. Festucion pratensis [Миркин, Розенберг, Наумова, 1989].

Материал

Из всех участков мониторинга в качестве модельных объектов выбраны шесть постоянных пробных площадок № 1, 2, 3, 4, 5, 9. Местоположение площадок, общее и среднее количество видов и режим хозяйственного использования за годы мониторинга представлены в табл. 1.

На основе геоботанических описаний и литературных источников [Ермакова, Сугоркина, 2011, 2017] был составлен общий список видов на шести постоянных площадках, содержащий 148 видов и характерных для видов жизненных форм, в целом насчитывавших 96 форм. Каждой жизненной форме был присвоен цифровой код, всего получено 96 кодов, которые затем использовались для анализа данных. Поскольку при расчетах принимались во внимание все известные жизненные формы, характерные для каждого вида (а не конкретные, свойственные видам на исследуемых постоянных площадках), построенные графики отражают теоретические модели динамики состава жизненных форм. Были определены виды и жизненные формы с редким, переменным и постоянным участием в травостое на постоянных площадках, среднелетние обилия жизненных форм, видов, а также кормовая значимость видов по Л.Г. Раменскому [Раменский, 1956].

Для сравнительного анализа состава ЖФ в многолетней динамике на площадках использовались два индекса:

- 1) индекс среднего количества жизненных форм ($N_{\text{ЖФ}}$);
- 2) индекс стабильности жизненных форм ($IS_{\text{ЖФ}}$).

Значение индекса среднего количества жизненных форм ($N_{\text{ЖФ}}$) за весь период наблюдения для каждой площадки определяли по формуле:

$$N_{\text{ЖФ}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n N_{t \text{ ЖФ}}, \quad (1)$$

где $N_{t \text{ ЖФ}}$ – количество жизненных форм на конкретной площадке в момент времени t , n – длительность наблюдения в годах.

Индекс стабильности жизненных форм ($IS_{\text{ЖФ}}$) определяли по формуле:

$$IS_{\text{ЖФ}} = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} a_t}{n-1}, \quad (2)$$

где

$$a_t = N_{\text{ЖФ}}^t / N_{\text{ЖФ}}^{t+1}, \text{ если } N_{\text{ЖФ}}^t \leq N_{\text{ЖФ}}^{t+1} \text{ или} \quad (3)$$

$$a_t = N_{\text{ЖФ}}^{t+1} / N_{\text{ЖФ}}^t, \text{ если } N_{\text{ЖФ}}^t \geq N_{\text{ЖФ}}^{t+1};$$

$N_{\text{ЖФ}}^t$ – количество жизненных форм в момент времени t ; $N_{\text{ЖФ}}^{t+1}$ – количество жизненных форм в следующий момент $t + 1$; n – общее число лет

Таблица 1

Краткая характеристика площадок
[Brief description of the sites]

Номер площадки [Number of sites]	Местоположение [Location]	Общее/среднее количество видов за годы мониторинга [Total/average number of species over the years of monitoring]	Общее/среднее количество жизненных форм за годы мониторинга [Total/average number of life forms over the years of monitoring]	Режим хозяйственного использования [Business Mode]	
				Годы [The years]	Использование [Using]
1	Центральная часть поймы, высокий уровень [Central part of the floodplain, high level]	103/39,5	69/29,9	1969–2012	Сенокос [Hayfield]
2	Центральная часть поймы, высокий уровень [Central part of the floodplain, high level]	89/40	63 / 31.3	1967–1979	Сенокос [Hayfield]
				1980–2001	Сенокосно- пастбищное [Hayfield-pasture]
				2002–2011	Сенокос [Hayfield]
3	Прирусловая часть поймы, высокий уровень [Near-bed part of the floodplain, high level]	108/41,3	71/32	1965–2001	Сенокосно- пастбищное [Hayfield-pasture]
				2002–2011	Сенокос [Hayfield]

4	Приустьевая часть поймы, высокий уровень [Near-bed part of the floodplain, high level]	104/42	67/32,8	1969–2010	Сенокос [Hayfield]
					Сенокосно-пастбищное [Hayfield-pasture]
5	Центральная часть поймы, высокий уровень [Central part of the floodplain, high level]	76/40,8	59/32,1	1980–2001	Сенокосно-пастбищное [Hayfield-pasture]
				2002–2010	Сенокос [Hayfield]
9	Приустьевая часть поймы, высокий уровень [Near-bed part of the floodplain, high level]	97/34,7	64/26,6	1980–2001	Пастбище [Pasture]
				2002–2011	Эпизодическое сенокосение [Episodic mowing]

наблюдений на данной площадке (размер выборки); m – общее число моментов t (сравнений жизненных форм и видов в соседние годы), для которых выполняется равенство $N_{\text{ЖФ}}^t = N^{t+1}$.

В расчетах, если во временном ряду нет момента времени (одинаковый состав видов и жизненных форм в соседние годы), т.е. выполняется условие $N_{\text{ЖФ}}^t = N_{\text{ЖФ}}^{t+1}$, тогда $m = 1$. В противном случае m увеличивается на число таких случаев, а соответствующее a_t в расчете не участвует. Этот индекс можно в простой форме интерпретировать как несмещенное среднее значение отношений числа видов в соседние моменты времени с учетом ограничений (3).

Ошибка индекса стабильности SE оценивается с помощью следующих формул:

$$SE = \frac{\sigma_{IS_{\text{ББ}}}}{\sqrt{n-m}}, \quad (4)$$

где

$$\sigma_{IS} = \sqrt{\frac{\sum (a_t - IS_{\text{ББ}})^2}{n-m}}, \quad \text{если } n-m \geq 30;$$

$$\sigma_{IS} = \sqrt{\frac{\sum (a_t - IS_{\text{ББ}})^2}{(n-m)-1}}, \quad \text{если } n-m < 30.$$

Из формулы (2) с учетом ограничений (3) следует, что индекс стабильности изменяется в пределах от 0 до 1, т.е. ($0 \leq IS_{\text{ЖФ}} \leq 1$). Крайние точки этого интервала интерпретируются следующим образом: если $IS_{\text{ЖФ}} = 0$, то количество ЖФ по времени крайне нестабильно; если $IS_{\text{ЖФ}} = 1$, то количество ЖФ в сообществе максимально стабильно и не изменяется во времени. Обычно этот индекс принимает промежуточное значение.

Для сравнительного анализа индексов жизненных форм на всех площадках использованы методы однофакторного дисперсионного анализа с равными и неравными количествами повторений в ячейках (ANOVA). Кроме того, использован графический метод сравнения средних значений (ANOM Plot) [Петросян, 2014]. Построенная диаграмма показывает результаты проверки нуль-гипотезы, которая состоит в том, что все средние различных уровней фактора не отличаются от генерального среднего. Во всех случаях применяли модели однофакторного дисперсионного анализа типа I, т.е. модели с фиксированным фактором. В качестве фактора с шестью уровнями в разных моделях служили площадки. Если однофакторный дисперсионный анализ с фиксированными эффектами показывал существенное различие уровней факторов, то с помощью методов множественного сравнения мы определяли, какие именно

уровни фактора отличались друг от друга. Если размеры выборок не равны, т.е. имелась несбалансированная модель I-го типа, то для множественного сравнения использовалась процедура Тьюки–Крамера [Zar, 2010]. Для множественного сравнения с неравными дисперсиями по критерию Левена использовался критерий Тьюки–Крамера с модификацией Уелча [Zar, 2010]. Статистический анализ данных был выполнен с помощью интегрированного пакета Biosystem office [Петросян, 2014].

Результаты

Общее и среднее количество жизненных форм за годы мониторинга, а также режим хозяйственного использования представлен в табл. 1. Видно, что сенокосная площадка № 4 занимает 2 место по количеству видов – 104 (см. табл. 1), а по количеству жизненных форм (67) – 3 место, но по средним значениям как видов, так и жизненных форм занимает 1 место – 42 и 32,8 соответственно. Площадка № 9, расположенная в прирусловой части поймы, большую часть времени мониторинга использовалась как пастбище. Выпас начинался в середине мая и продолжался до конца сентября. Стадо насчитывало 200–300 голов молодняка крупного рогатого скота [Ермакова, Сугоркина, 2016]. В период 1980–2001 гг. стадо паслось на сенокосно-пастбищных площадках и нагрузка на площадку № 9 ослабевала, но оставался прогон скота к воде. Таким образом, на площадке преобладал умеренный пастбищный режим. По общему количеству зафиксированных в описаниях видов она занимает 4 место – 97, но по их среднему значению (34,7) уступает всем площадкам. Такая же закономерность наблюдается и в отношении показателя жизненных форм. Сенокосно-пастбищная площадка № 3, расположенная в прирусловой части поймы, характеризуется наибольшим количеством видов и жизненных форм – 108 и 71 соответственно. Но по среднему количеству видов (41,3) она уступает площадке № 4, а по среднему значению жизненных форм (32) занимает 3 место, уступая площадкам № 4 и 5. Сенокосная площадка № 1, расположенная в центральной части поймы, и по количеству видов занимает 3 место – 103, а по количеству жизненных форм 2 место – 69. Но по среднему количеству видов и жизненных форм занимает 5 место – 39,5 и 29,9 соответственно. Сенокосно-пастбищная площадка № 2, расположенная в центральной части поймы, по общему количеству видов и жизненных форм (89 и 63 соответственно) находится на 5 месте, но по среднему количеству видов и жизненных форм (40 и 31,3 соответственно) занимает 4 место. Сенокосно-пастбищная площадка № 5, расположенная в центральной части поймы, по общему количеству видов и жизненных

форм (76 и 59 соответственно) на 6 месте, но по среднему количеству видов (40,8) занимает 4 место, а по среднему количеству жизненных форм (32,1) занимает 2 место.

Таким образом, сенокосные площадки № 3 и 4, расположенные в прирусловой части поймы, отличаются более высоким видовым богатством и большим набором жизненных форм по сравнению с остальными площадками. Но по среднему количеству видов (41,3 и 42 соответственно) и жизненных форм (32 и 32,8 соответственно) существенных отличий от остальных площадок не наблюдается, за исключением площадки № 9 с многолетним пастбищным режимом (среднее количество видов 34,7 и среднее количество ЖФ – 26,6). Большое число видов и жизненных форм на двух упомянутых площадках, возможно, связаны с более рыхлым субстратом почвы [Работнов, 1984] по сравнению с центральной частью поймы. Небольшие различия по средним показателям количества видов и жизненных форм на большинстве пробных площадках объясняется однотипным многолетним режимом их хозяйственного использования.

Значения индексов среднего количества жизненных форм ($N_{\text{ЖФ}}$) и стабильности жизненных форм ($IS_{\text{ЖФ}}$) для площадок № 1–5, 9 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения индексов среднего количества жизненных форм и стабильности жизненных форм на исследованных площадках
[The values of the indices of the average number of life forms and the stability of life forms on sites]

Номер площадки [Number of sites]	Значения $N_{\text{ЖФ}}$ (± стандартная ошибка) для площадок [Values N_{LF} (± standard error) for sites]	Значения $IS_{\text{ЖФ}}$ (± стандартная ошибка) для площадок [Values IS_{LF} (± standard error) for sites]
1	29 ± 0,74	0,870 ± 0,015
2	31 ± 0,7	0,875 ± 0,014
3	32 ± 0,7	0,897 ± 0,014
4	32,8 ± 0,75	0,884 ± 0,015
5	32,1 ± 0,81	0,876 ± 0,016
9	26,6 ± 0,87	0,875 ± 0,017

На рис. 1 представлены значения индекса среднего количества жизненных форм $N_{\text{ЖФ}}$ на исследованных площадках со значением стандартной ошибки. Значения индекса на этих площадках за все годы мониторинга изменялись в пределах от 26,6 до 32,8 соответственно. На площадке № 4 значение индекса достигло максимума, а на площадке № 9 – минимума.

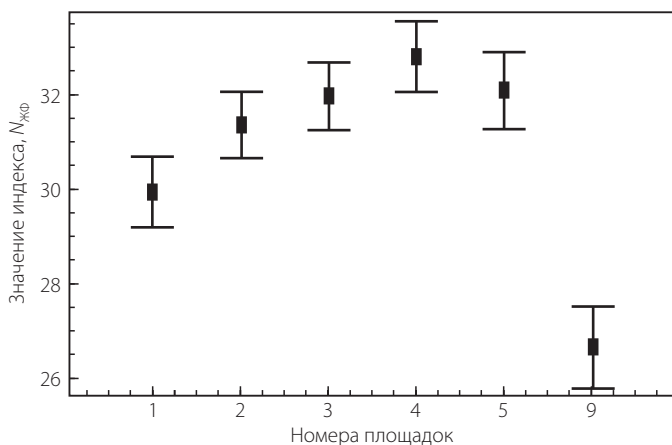


Рис 1. Значения индекса среднего количества жизненных форм $N_{\text{ЖФ}}$ со значением стандартной ошибки ($F = 7,32; P \ll 0,0001$)

Fig. 1. Index values of the average number of life forms N_{LF} with the standard error value ($F = 7.32; P \ll 0.0001$)

На рис. 2 представлены значения индекса $N_{\text{ЖФ}}$ на всех исследованных площадках с генеральным средним значением и с критическими средними значениями за все годы наблюдений. Любое среднее значение, которое выходит за границы критических значений, означает, что соответствующий уровень фактора значительно отличается от генерального среднего. Видно, что значения индекса среднего количества ЖФ на площадках №№ 1–5, 9 за все годы мониторинга составили от 26,6 до 32,8 соответственно (см. рис. 2). На площадке № 4 значение $N_{\text{ЖФ}}$ максимальное, а на площадке № 9 наблюдалось минимальное его значение, которое находится за нижней границей критического $N_{\text{ЖФ}}$. На верхней границе критического значения $N_{\text{ЖФ}}$ находится площадка № 4.

Таким образом, на основании сравнения значений $N_{\text{ЖФ}}$ всех участков с генеральным средним значением, площадка № 9 и 4 статистически значительно отличаются от всех остальных площадок.

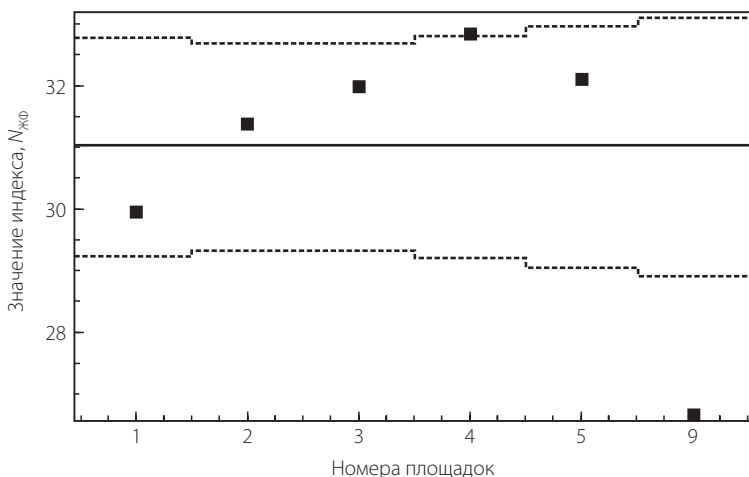


Рис. 2. Графическое изображение значений индекса среднего количества жизненных форм $N_{жф}$ ($F = 7,32$; $P \ll 0,0001$)

Сплошная линия – генеральное среднее значение индексов для всех площадок; ломаные линии – верхняя и нижняя границы критических средних значений индексов для каждой площадки по отношению к генеральному среднему

Fig. 2. Graphic representation of the values of the index of the average number of life forms N_{LF} ($F = 7.32$; $P \ll 0.0001$)

The solid line is the general average value of the indices for all sites; broken lines are the upper and lower boundaries of the critical average indices for each site in relation to the general average

На рис. 3 показаны значения индексов стабильности на всех площадках. Видно, что средние значения индекса на пробных площадках составили от 0,870 до 0,897 (см. табл. 2) соответственно. На площадке № 3 индекс имеет максимальное значение, а на площадке № 1 наблюдается минимальное его значение. Множественное сравнение индексов стабильности ЖФ с помощью ANOVA показало, что не существует статистически значимых различий между всеми площадками ($F = 0,49$; $P = 0,78$).

Обсуждение

Поскольку статистически значимые результаты получены в отношении площадок № 4 и № 9 (см. рис. 2), проанализируем постоянно встречающиеся жизненные формы (ЖФ) на этих площадках в период 1980–2010 гг. (табл. 4). Напомним, что площадка № 4 все годы мониторинга имела сенокосное использование, а № 9 – пастбищное.

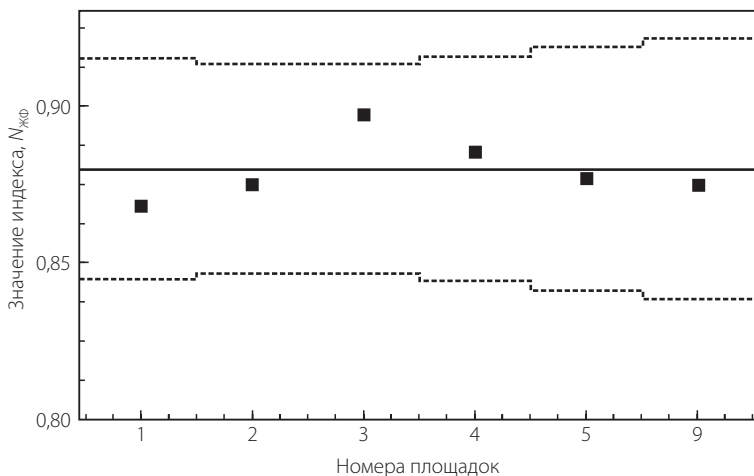


Рис. 3. Графическое сравнение индексов стабильности жизненных форм на площадках ($F = 0,49$; $P = 0,79$)

Сплошная линия – генеральное среднее значение индексов для всех площадок; ломаные линии – верхняя и нижняя границы критических средних значений индексов для каждой площадки по отношению к генеральному среднему

Fig. 3. Graphic comparison of the stability indices of life form on sites ($F = 0,49$; $P = 0,79$)

The solid line is the general average value of the indices for all sites; broken lines are the upper and lower boundaries of the critical average indices for each site in relation to the general average

На площадке № 4 постоянно встречаются 15 жизненных форм. Первые 8 – те же, что и на площадке № 9, из остальных пяти – преимущественно стержнекорневые, а также факультативно-корнеотпрысковая, короткокорневищная, длиннокорневищно-кустовая и др. На площадке № 9 постоянно встречаются 11 жизненных форм, из них две относятся преимущественно к длиннокорневищным. Также присутствуют наземноползучая, рыхлокустовая, стержнекорневые, монокарпики и др. Наличие данных жизненных форм на выпасаемой площадке объясняется их устойчивостью к длительному пастбищному режиму, который продолжался в течение 21 года наблюдений (см. табл. 1). Участие меньшего количества стержнекорневых жизненных форм на выпасаемой площадке № 9 связано с неблагоприятными факторами для их произрастания, например, вытаптывание и уплотнение почвы. С другой стороны, постоянное участие на площадке № 9 двулетних монокарпиков, стержнекорневых,

Таблица 3

Постоянно встречающиеся жизненные формы и виды с оценкой их обилия и кормового достоинства на площадках № 9 и 4
[Constantly occurring life forms and species with an assessment of their abundance and feeding dignity at sites № 9 and 4]

Постоянные жизненные формы на площадке № 4, средне-многолетнее обилие видов данной жизненной формы [Permanent life form at site № 4 and the medium-long-term abundance of species of this life form]	Виды и их среднемноголетнее обилие на площадке № 4 [Species and their mean annual abundance at site № 4]	Кормовое достоинство для крупнорогатого скота [Aft dignity for cattle]	Постоянные жизненные формы на площадке № 9 и средне-многолетнее обилие видов данной жизненной формы [Permanent life form at site № 9 and the mean annual abundance of species of this life form]	Виды и их среднемноголетнее обилие на площадке № 9 [Species and their mean annual abundance at site № 9]	Кормовое достоинство для крупнорогатого скота [Aft dignity for cattle]
Длиннокорневичная, плотнодерновинная [Longroot duster, dense core] – 6,2	<i>Poa angustifolia</i> L. – 6,2	Высокое [High]	Длиннокорневичная, плотнодерновинная [Longroot duster, dense core] – 7	<i>Poa angustifolia</i> L. – 7	Высокое [High]
Рыхлокустовая [Loosestem] – 4,4	<i>Festuca pratensis</i> Huds. – 6 <i>Dactylis glomerata</i> L. – 5,1 <i>Phleum pratense</i> L. – 3,5 <i>Helictotrichon pubescens</i> (Huds) Pilger – 4,6 <i>Agrostis diluta</i> Kurecz. – 2,8	Высокое [High] Высокое [High] Высокое [High] Среднее [Average] Высокое [High]	Рыхлокустовая [Loosestem] – 5,3	<i>Festuca pratensis</i> Huds. – 6,6 <i>Dactylis glomerata</i> L. – 4,6 <i>Phleum pratense</i> L. – 4,8	Высокое [High] Высокое [High] Высокое [High]

Наземноползучая [Groundcreeping] – 3,6	<i>Glechoma hederacea</i> L. – 3,8 <i>Trifolium repens</i> L. – 3,4	Не поедается [Not eaten] Высокое [High]	Наземноползучая [Groundcreeping] – 3,9	<i>Trifolium repens</i> L. – 5,1 <i>Glechoma hederacea</i> L. – 2,7	Высокое [High] Не поедается [Not eaten]
Длиннокорневичная [Longrootthizomatous] – 3,3	<i>Achillea millefolium</i> L. – 3,5 <i>Veronica chamaedrys</i> L. – 3,5 <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski. – 3,9 <i>Galium boreale</i> L. – 3,1 <i>Equisetum arvense</i> L. – 2,4	Среднее [Average] Низкое [Low] Среднее [Average] Низкое [Low] Низкое [Low]	Длиннокорневичная [Longrootthizomatous] – 3,8	<i>Achillea millefolium</i> L. – 5,1 <i>Veronica chamaedrys</i> L. – 2,5 <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski. – 3,8	Среднее [Average] Низкое [Low] Среднее, высокое до колошения [Average, high before earing]
Короткокорневично-кистекорневая [Shortrooted – root brush] – 2,7	<i>Sentaura jacea</i> L. – 2,8 <i>Geranium pratense</i> L. – 3,6 <i>Ranunculus acris</i> L. – 2 <i>Plantago major</i> L. – 2,8 <i>Ranunculus auricomus</i> L. – 2,3 <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam. – 2,5	Низкое [Low] Низкое [Low] Низкое [Low] Низкое [Low] Низкое [Low]	Короткокорневично-кистекорневая [Shortrooted – root brush] – 2,8	<i>Sentaura jacea</i> L. – 3 <i>Geranium pratense</i> L. – 2,4 <i>Plantago major</i> L. – 3 <i>Ranunculus acris</i> L. – 2 <i>Leontodon autumnalis</i> L. – 3 <i>Achemilla vulgaris</i> L. emend. Frohner – 2 <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam. – 3	Низкое [Low] Низкое [Low] Не поедается [Not eaten] Не поедается [Not eaten] Среднее [Average] Среднее [Average] Не поедается [Not eaten]

Продолжение табл. 3

Постоянные жизненные формы на площадке № 4, средне-многолетнее обилие видов данной жизненной формы [Permanent life form at site № 4 and the medium-long-term abundance of species of this life form]	Виды и их средне-многолетнее обилие на площадке № 4 [Species and their mean annual abundance at site № 4]	Кормовое достоинство для крупнорогатого скота [Aft dignity for cattle]	Постоянные жизненные формы на площадке № 9 и средне-многолетнее обилие видов данной жизненной формы [Permanent life form at site № 9 and the mean annual abundance of species of this life form]	Виды и их средне-многолетнее обилие на площадке № 9 [Species and their mean annual abundance at site № 9]	Кормовое достоинство для крупнорогатого скота [Aft dignity for cattle]
Длиннокорневичная – стержнекорневая [Longroot – rotoot] – 3,2	<i>Galium mollugo</i> L. – 3,5 <i>Galium verum</i> L. – 2,9	Низкое [Low] Низкое [Low]	Длиннокорневичная – стержнекорневая [Longroot – rotoot] – 2,45	<i>Galium mollugo</i> L. – 2,4 <i>Galium verum</i> L. – 2,5	Низкое [Low] Низкое [Low]
Монокарпика, двулетника, многолетника стержнекорневые; клубнекорневые [Monocarpics, biennials; stemroot, tuberoot] – 3,5	<i>Seseli libanotis</i> (L.) W.D.J.Koch. – 5,8 <i>Chaerophyllum prescottii</i> DC. – 2,1	Низкое [Low] Низкое [Low]	Монокарпика, двулетника, стержнекорневые; клубнекорневые [Monocarpics, biennials; stemroot, tuberoot] – 2,5	<i>Seseli libanotis</i> (L.) W.D.J.Koch. – 2,8 <i>Chaerophyllum prescottii</i> DC. – 2,2	Низкое [Low] Низкое [Low]
Стержнекорневая; факультативно-стержнекорне-отпрысковая [Stemroot; optional – stem thrower] – 4,6	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg – 4,6	Среднее [Average]	Стержнекорневая; факультативно-стержнекорне-отпрысковая [Stemroot; optional stem thrower] – 6	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. – 6	Среднее [Average]

Стержнекорневая [Stemroot] – 2,4	<i>Rumex thyrsiflorus</i> Fingerh. – 2,5 <i>Polygala tomosa</i> Schkuhr. – 2,2	Низкое [Low] Низкое [Low]	Монокарпика; одно-, двулетники, стержнекорневые [Monocarpic; one-, two-year-olds, stemroots] – 4,5	<i>Carum carvi</i> L. – 4,5	Высокое [High]
Стержнекорневая с каудексом, двулетник, многолетник [Rodroot with caudex, two-, perennial] – 3,5	<i>Heraclium sibiricum</i> L. – 3,5	Среднее [Average]	Длинно-стержнекор- невая с каудексом, факультативно корнеотпрысковая, стержнекорневая, корнеотпрысковая [Longroot with caudex, optionally root sprout, stemroot, root sprinkle] – 2,7	<i>Centaurea scabiosa</i> L. – 2,7	Низкое [Low]
Стержнекорневая с вертикальным корневищем; короткостержнекор- невая с многоглавым каудексом; факультативно- корнеотпрысковая; короткостержнекор- невая [Rod root with a vertical rhizome; short root with many- headed caudex; optional short-root; short-root] – 2,7	<i>Catranula</i> <i>glomerata</i> L. – 2,7	Низкое [Low]	Корневишно- рыхлокустовая; длиннокорневищно- кустовая [Rhizoma-loose root; long root, long root rot] – 5,1	<i>Festuca</i> <i>rubra</i> L. – 5,1	Высокое [High]

Окончание табл. 3

Постоянные жизненные формы на площадке № 4, средне-многолетнее обилие видов данной жизненной формы [Permanent life form at site № 4 and the medium-long-term abundance of species of this life form]	Виды и их средне-многолетнее обилие на площадке № 4 [Species and their mean annual abundance at site № 4]	Кормовое достоинство для крупнорогатого скота [Aft dignity for cattle]	Постоянные жизненные формы на площадке № 9 и средне-многолетнее обилие видов данной жизненной формы [Permanent life form at site № 9 and the mean annual abundance of species of this life form]	Виды и их средне-многолетнее обилие на площадке № 9 [Species and their mean annual abundance at site № 9]	Кормовое достоинство для крупнорогатого скота [Aft dignity for cattle]
Факультативно- корнеотпрысковая; стержнекорневая с каудексом [Optional cortex shoot; rooted root with caudex] – 5,1	<i>Bunias orientalis</i> L. – 5,1	Среднее [Average]			
Длиннокорневищная; ллана [Longrootrhizomatous; liana] – 2,4	<i>Vicia sepium</i> L. – 2,8 <i>Lathyrus pratensis</i> L. – 2	Среднее [Average] Среднее [Average]			
Длиннокорневишно- кустовая [Longrootrhizomatous- shrub] – 5,1	<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holtub. – 5,1	Высокое [High]			
Длиннокорневишно- стержнекорневая; ллана [Longrootrhizomatous rooted; liana] – 3	<i>Vicia cracca</i> L. – 3	Высокое [High]			

* Латинские названия приведены по П.Ф. Маевскому [Маевский, 2014].

** Кормовое достоинство видов приведено по Л.Г. Раменскому [Раменский, 1956].

клубнекорневых и др. можно объяснить разреженностью травостоя и наличием свободных мест для развития растений этих жизненных форм. Постоянное участие стержнекорневой факультативно-корнеотпрысковой и стержнекорневой жизненных форм объясняется способностью этих растений формировать прикорневые розеточные побеги, устойчивые к вытаптыванию, а также формировать многочисленные корневые отпрыски при повреждении их корневых систем [Раменский, 1984].

Среднее многолетнее обилие жизненных форм, имеющих высокое кормовое достоинство для крупнорогатого скота, выше на площадке № 9. Например, длиннокорневищный мятлик *Poa angustifolia* L. на площадке № 9 среднее многолетнее обилие имеет 7, а на площадке № 4 – 6,2. Рыхлокустовая жизненная форма, имеющая высокое кормовое достоинство, на площадках № 9 и 4 представлена 4 видами: *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pretense* и *Agrostis diluta*. Среднее многолетнее обилие *Festuca pratensis* на площадке № 9 составило 6,6, а на площадке № 4 – 6; эти показатели у *Phleum pratense* на площадке № 9 составил 4,8, а на площадке № 4 – 3,5 соответственно. В целом рыхлокустовая жизненная форма на площадке № 9 имеет значение 5,3, а на площадке № 4 – 4,4.

Наоборот, среднее многолетнее обилие жизненных форм, имеющих низкие кормовые достоинства, выше на площадке № 4. Например, длиннокорневищная стержнекорневая жизненная форма на площадках № 4 и 9 представлена двумя видами: *Galium mollugo* и *G. verum*. Эти виды имеют низкое кормовое достоинство. Среднее многолетнее обилие *G. mollugo* на площадке № 4 составило 3,5, а на площадке № 9 – 2,4; *G. verum* на площадке № 4 – 2,9, а на площадке № 9 – 2,4. Более высокие значения обилия жизненных форм и видов с высокими кормовыми достоинствами на площадке № 9 по сравнению с площадкой № 4 можно объяснить тем, что при частичном их поедании стимулируются ростовые процессы, направленные на восстановление утраченных частей. Происходит усиленное формирование новых побегов возобновления, что позволяет этим видам занимать большие площади.

Более высокое обилие видов растений и жизненных форм, имеющих низкое кормовое достоинство, на площадке № 4 объясняется отсутствием вытаптывания и срамливания травостоя. С этим связано увеличение видового разнообразия и жизненных форм на этой площадке.

Заключение

1. Наши данные показали, что характер хозяйственного использования оказывает существенное влияние на состав и разнообразие жизненных форм. Наибольшее разнообразие жизненных форм отмечено

на сенокосной площадке № 4, наименьшее – на пастбищной площадке № 9, на сенокосно-пастбищных площадках выявлено промежуточное число жизненных форм.

2. На сенокосной площадке № 4 высокое значение приобретает количество постоянных стержнекорневых жизненных форм, а на пастбищной площадке № 9 – длиннокорневищных.

3. Выявлен относительно стабильный состав жизненных форм на площадках № 1, 2, 3, 5, который объясняется длительным однообразным и умеренным режимом хозяйственного использования в течение 20 наблюдаемых лет.

4. В роли регулятора состава жизненных форм растений на сенокосных площадках № 1 и 4 выступал человек, а на пастбищной площадке № 9 – крупный рогатый скот. На сенокосно-пастбищных площадках № 1, 2, 3 и 5 регулирование состава осуществлялось совместно человеком и крупным рогатым скотом.

5. Обилие видов растений, имеющих хорошее кормовое достоинство, выше на пастбищной площадке № 9 по сравнению с сенокосной площадкой № 4, что объясняется большей интенсивностью отрастания растений этих жизненных форм.

6. Рациональное хозяйственное использование лугов должно заключаться в чередовании сенокосного и пастбищного режимов. Пастбищный режим позволяет снизить количество растений, имеющих низкое кормовое достоинство, а сенокосный способствует получить более разнообразный видовой состав сена, что важно для корма крупного рогатого скота, особенно в зимний период.

7. В целом исследование показало, что индексы среднего количества жизненных форм и стабильности жизненных форм применимы для оценки состава жизненных форм лугового сообщества в зависимости от антропогенного воздействия.

Библиографический список / References

Анализ структуры жизненных форм растительных сообществ на нарушенных промышленностью землях Среднего Урала / Чибрик Т.С., Лукина Н.В., Глазырина М.А., Филимонова Е.И. // Биоморфологические исследования в современной ботанике: Материалы международной конференции. Владивосток, 2007. С. 456–459. [Chibrik T.S., Lukina N.V., Glazyrina M.A., Filimonova E.I. Analysis of the structure of the life forms of plant communities on the industrial lands of the Middle Urals. *Biomorfologicheskiye issledovaniya v sovremennoy botanike*. Vladivostok, 2007. Pp. 456–459.]

Андреева М.В. Разногодичная динамика биоморфологического состава пойменных лугов р. Оки // Принципы и способы сохранения биоразнообразия:

Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2010. С. 55–56. [Andreeva M.V. Multi-year dynamics of the biomorphological composition of floodplain meadows of the Oka River. *Printsyпы i sposoby sokhraneniya biorasnoobraziya. Materialy IV Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Yoshkar-Ola*, 2010. Pp. 55–56.]

Безделев А.Б. Исследование жизненных форм как необходимый элемент изучения внутривидового разнообразия и биоразнообразия фитоценозов // Фитоценология и систематика высших растений: Труды международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.А. Уранова. М., 2001. С. 21–22. [Bezdelev A.B. The study of life forms as a necessary element of the study of intraspecific diversity and biodiversity of phytosenoses. *Fitotsenologiya i sistematika vysshikh rastenii. Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchonnoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya A.A. Uranova*. Moscow, 2001. Pp. 21–23.]

Гатсук Л.Е. Опыт применения спектров жизненных форм к характеристике сообществ // Биоморфологические чтения к 150-летию со дня рождения Х. Раункиера: Материалы Всероссийской научной конференции. Киров, 2010. С. 55–66. [Gatsuk L.E. Experience of using life form spectra to characterize communities. *Biomorfologicheskiye chteniya k 150-letiyu so dnya rozhdeniya Kh. Rankiyera. Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*. Kirov, 2010. Pp. 55–66.]

Голубев В.Н. О принципах статистического анализа состава экобиоморф растительных сообществ для целей фитоценологии и фитоиндикации // Количественные методы анализа растительности: Материалы Всесоюзного совещания. Уфа, 1974. С. 13–15. [Golubev V.N. On the principles of statistical analysis of the composition of ecobiomorph plant communities for the purposes of phytocenology and phytoindication. *Kolichestvennyye metody analiza rastitel'nosti. Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya*. Ufa, 1974. Pp. 13–15.]

Динамика таксономического разнообразия луговых сообществ национального парка «Угра» при разных условиях антропогенного воздействия / Маслов Ф.А., Курченко Е.И., Ермакова И.М. и др. // Ботанический журнал. 2017. Т. 102 (11). С. 1504–1519. [Maslov F.A., Kurchenko E.I., Ermakova I.M., Sugorkina N.S., Petrosyan V.G. Dynamics specific and general taxonomical variety meadow communities of national park «Ugra» under different conditions of anthropogenic influence in the basis of data of long-term monitoring. *Botanicheskii zhurnal*. 2017. T. 102 (11). Pp. 1504–1519.]

Егорова В.Н. Динамика видового состава и спектров жизненных форм флоры поймы реки Оки в ходе естественных и антропогенных сукцессий // Ботанический журнал. 2004. Т. 89 (6). С. 957–973. [Egorova V.N. Dynamics of species composition and spectra of life forms of the Oka river floodplain flora during natural and man-made successions. *Botanicheskii Zhurnal*. 2004. T. 89 (6). Pp. 957–973.]

Ермакова И.М., Сугоркина Н.С. Динамика спектра жизненных форм луговых растений пойменного ландшафта в национальном парке «Угра» // Экологические проблемы сохранения исторического и культурного наследия: Материалы IX Всерос. научной конференции. Бородино. М., 2005. С. 405–425. [Ermakova I.M., Sugorkina N.S. Dynamics of the spectra of the life forms of the meadow plants in floodplain landscape in the national park «Ugra». *Ekologicheskiye problemy sokhraneniya istoricheskogo i kul'turnogo naslediya. Materialy IX Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii. Borodino*. Moscow, 2005. Pp. 405–425.]

Ермакова И.М., Сугоркина Н.С. Жизненные формы растений Залидовских лугов Калужской области // Ботанический журнал. 2011. Т. 96 (3). С. 316–341.

[Ermakova I.M., Sugorkina N.S. Life forms of the plants from Zalidovskii meadows in Kaluga region. *Botanicheskii Zhurnal*. 2011. T. 96 (3). Pp. 316–341.]

Ермакова И.М., Сугоркина Н.С. Мониторинг растительности Залидовских лугов Калужской области. М., 2016. Т. 1. [Ermakova I.M., Sugorkina N.S. Monitoring rastitelnosti Zalidovskikh lugov Kaluzhskoy oblasti [Monitoring vegetation of Zalidovskiy meadows of the Kaluga region]. Moscow, 2016. T. 1.]

Ермакова И.М., Сугоркина Н.С. Мониторинг растительности Залидовских лугов Калужской области. М., 2017. Т. 4. [Ermakova I.M., Sugorkina N.S. Monitoring rastitelnosti Zalidovskikh lugov Kaluzhskoy oblasti [Monitoring vegetation of Zalidovskiy meadows of the Kaluga region]. Moscow, 2017. T. 4.]

Использование индексов таксономического своеобразия и разнообразия для количественной характеристики динамики таксонов растительных сообществ по данным многолетнего мониторинга (на примере Залидовских лугов Калужской области) / Маслов Ф.А., Курченко Е.И., Ермакова И.М. и др. // Труды Карельского центра РАН. Петрозаводск, 2017. № 4. С. 81–92. [Maslov F.A., Kurchenko E.I., Ermakova I.M., Sugorkina N.S., Petrosyan V.G. Use of indexes of a taxonomical originality and a variety for the quantitative characteristic of dynamics of taxons vegetable community according to long-term monitoring (on the example of Zalidovskie meadows in Kaluga region). *Trudy Karel'skogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. Petrozavodsk, 2017. № 4. Pp. 81–92.]

Кашкаров Д.Н. Основы экологии животных. М.; Л., 1938. [Kashkarov D.N. Osnovy ekologii zhivotnykh [Basics of animal ecology]. Moscow; Leningrad, 1938.]

Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М., 2014. [Mayevskii P.F. Flora sredney polosy evropeyskoy chasti Rossii [Flora of a midland of the European part of Russia]. 11nd ed. Moscow, 2014.]

Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М., 1989. [Mirkin B.M., Rozenberg G.S., Naumova L.G. Slovar ponyatiy i terminov sovremennoy fitotsenologii [Dictionary of concepts and terms of modern phytocenology]. Moscow, 1989.]

Морозова Л.М. Изменение степной флоры южного Урала под воздействием выпаса // Рациональное использование и охрана растительного мира Урала: Материалы Всесоюзной конференции. Свердловск, 1991. С. 51–65. [Morozova L.M. Change of the steppe flora of the Southern Urals under the influence of grazing. *Ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana rastitel'noy mira Urala. Materiali Vsesoyusnoi konferencii*. Sverdlovsk, 1991. Pp. 51–65.]

Мэгарран Э.М. Экологическое разнообразие и его измерение. М., 1992. [Megarran E. Ekologicheskoe raznoobrazie i ee izmerenie [Environmental variety and her measurement]. Moscow, 1992.]

Петросян В.Г. Принципы и методы оценки разнообразия биологических систем на разных уровнях иерархии с применением Biosystem-96 // Изучение и охрана разнообразия фауны, флоры и основных экосистем Евразии. М., 2000. С. 244–256. [Petrosyan V.G. The principles and methods of assessment of a variety of biological systems at the different levels of hierarchy with application of Biosystem-96. *Izuchenie i okhrana raznoobraziya fauny, flory i osnovnykh Ekosistem Evrazii*. M., 2000. Pp. 244–256.]

Петросян В.Г., Марин Ю.Ф. Интерактивная информационная система BIOSYSTEM 1.0 для изучения биоразнообразия и биоресурсов заповедников России // Проблемы заповедного дела. Екатеринбург, 1996. С. 211–215. [Petrosyan V.G., Marin U.F. Interactive information system BIOSYSTEM 1.0

for studying of a biodiversity and bioresources of reserves of Russia. *Problemy zapovednogo dela*. Ekaterinburg, 1996. Pp. 211–215.]

Полозова Т.Г. Состав биоморф и некоторые особенности структуры реликтовых степных сообществ Западной Чукотки // Ботанический журнал. 1983. Т. 68 (11). С. 1503–1512. [Composition of biomorphs and some features of the structure of relic steppe communities of Western Chukotka. *Botanicheskii Zhurnal*. 1983. T. 68 (11). Pp. 1503–1512.]

Работнов Т.А. Луговедение. Учебник. 2-е изд. М., 1984. [Rabotnov T.A. *Lugovedenie* [Meadowing]. Textbook. 2 ed. Moscow, 1984.]

Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М., 1964. [Serebryakov I.G. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy* [Ecological morphology of plants]. Moscow, 1964.]

Серебрякова Т.И. Учение о жизненных формах растений на современном этапе // Ботаника – ВИНТИ. М., 1972. Т. 1. С. 84–169. [Serebryakova T.I. *Doctrine of plant life forms at the present stage*. *Botanika – VINITI*. T. 1. Moscow, 1972. Pp. 84–169.]

Смелов С.П. Теоретические основы луговодства. М., 1966. [Smelov S.P. *Teoreticheskie osnovy lugovodstva* [Theoretical foundations of grassland]. Moscow, 1966.]

Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. М., 1971. [Tishler V. *Selskohozyaystvennaya ekologiya* [Agricultural ecology]. Moscow, 1971.]

Убушаев Б.С., Скиданов Д.С., Бадмаев В.С. Видовое разнообразие сенокосов и пастбищ Республики Калмыкия // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 1 (4). С. 922–925. [Specific variety of haymakings and pastures of the Republic Kalmykia. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2011. T. 13. № 1 (4). Pp. 922–925.]

Уранов А.А. Наблюдения на летней практике. Пособие для студентов. М., 1964. [Nablyudeniya na letney praktike [Observations in summer practice]. Study guide for students. Moscow, 1964.]

Шафранова Л.М., Гатцук Л.Е., Шорина Н.И. Биоморфология растений и ее влияние на развитие экологии. М., 2009. [Shafranova L.M., Gatsuk L.E., Shorina N.I. *Biomorfologiya rasteniy i ee vliyanie na razvitie ekologii* [Plant biomorphology and its influence on the development of ecology]. Moscow, 2009.]

Шорина Н.И., Фёдорова Л.В. Биологические типы растений Х. Раункиера (по работе 1905 года) // Биоморфологические чтения к 150-летию со дня рождения Х. Ранкиера: Материалы Всероссийской научной конференции. Киров, 2010. С. 19–31. [Shorina N.I., Fyodorova L.V. *Plant biomorphology and its influence on the development of ecology*. *Biomorfologichestvie chteniya k 150-letiyu so dnya rozhdeniya Kh. Rankiyera*. Kirov, 2010. Pp. 55–66.]

Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Раменский Л.Г., Цацеткин И.А., Чижиков О.Н. и др. М., 1956. [Ramenskii L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N. et al. *Ekologicheskaya otsenka kormovykh ugodiy po rastitelnomu pokrovu* [Ecological evaluation of the forage grounds by vegetation cover]. Moscow, 1956.]

Biosystem office. Интегрированная система управления базами данных и статистического анализа биологических данных. Федеральная служба по интеллектуальной собственности России. Свид. 2014663194 / Петросян В.Г. 18.12.2014. [Biosystem office. *The integrated database management system and statistic analysis*

of the biological data. Rospatent. Federal Service for Intellectual Property of Russia. Registration certificate RU 2014663194 / Petrosyan V.G. 18.12.2014.]

Raunkiaer C. Tyhes biologiques pour la geographie botanique. *Oversigt over Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger*. 1905. № 5. S. 345–347.
Zar J.H. *Biostatistical Analysis*. 5th ed. Prentice Hall, New Jersey, 2010.

Статья поступила в редакцию 26.03.2019, принята к публикации 18.04.2019

The article was received on 26.03.2019, accepted for publication 18.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Маслов Федор Александрович – учитель биологии, средняя общеобразовательная школа № 1501, г. Москва

Fedor A. Maslov – biology teacher, Secondary school 1501, Moscow

E-mail: fyodormaslov@yandex.ru

Курченко Елена Ивановна – доктор биологических наук; заведующий сектором ботаники Учебно-научного центра экологии и биоразнообразия, Московский педагогический государственный университет

Elena I. Kurchenko – Dr. Biol. Hab.; Head at the Botany Sector of Research and Education Centre Ecology and Biodiversity, Moscow Pedagogical State University

E-mail: kurchenko@inbox.ru

Ермакова Инна Михайловна – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник Учебно-научного центра экологии и биоразнообразия, Московский педагогический государственный университет

Inna M. Ermakova – PhD in Biology; Senior researcher at the Research and Education Centre Ecology and Biodiversity, Moscow Pedagogical State University

E-mail:

Сугоркина Надежда Сергеевна – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник Учебно-научного центра экологии и биоразнообразия, Московский педагогический государственный университет

Nadezhda S. Sugorkina – PhD in Biology; Senior researcher at the Research and Education Centre Ecology and Biodiversity, Moscow Pedagogical State University

E-mail:

Петросян Варос Гарегинович – доктор биологических наук; заведующий отделом биоинформатики и моделирования биологических процессов, Институт проблем эволюции и экологии им. А.Н. Северцова РАН

Varos G. Petrosyan – Dr. Biol. Hab.; Head at the Department of Bioinformatics and Biological Modeling, Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences

E-mail: petrosyn@sevin.ru

Заявленный вклад авторов

Ф.А. Маслов – разработка принципов классификации жизненных форм растений для математической обработки, анализ и интерпретация результатов математической обработки данных мониторинга, подготовка текста статьи и иллюстраций

Е.И. Курченко – участие в подготовке текста статьи, интерпретация результатов математического анализа

И.М. Ермакова – использование опубликованных ранее данных мониторинга растительности на пробных постоянных площадках; консультации при написании статьи

Н.С. Сугоркина – использование опубликованных ранее данных мониторинга растительности на пробных постоянных площадках; консультации при написании статьи

В.Г. Петросян – общее руководство направлением исследования, математическая обработка данных мониторинга методами статистики, участие в подготовке текста статьи

Contribution of the authors

F.A. Maslov – development of principles for classifying plant life forms for mathematical processing, analysis and interpretation of the results of mathematical processing of monitoring data, preparation of the text of the article and illustrations

E.I. Kurchenko – participation in the preparation of the text of the article, interpretation of the results of mathematical analysis

I.M. Ermakova – the use of previously published vegetation monitoring data at trial permanent sites; advice on writing the article

N.S. Sugorkina – the use of previously published vegetation monitoring data at trial permanent sites; advice on writing the article

V.G. Petrosyan – general direction of research, mathematical processing of monitoring data by statistical methods, participation in the preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-228-239

И.Н. Спиридонова, С.П. Ломов

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства,
440028 г. Пенза, Российская Федерация

Погребенные почвы средней части Маклашеевского II городища (Среднее Поволжье)

Маклашеевское II городище – это сложный археологический объект, который включает в себя поселения раннего железного века и раннего средневековья, разделенных более чем шестисотлетним периодом природно-естественного развития и преобразования антропогенных сооружений. Маклашеевское II городище представляет собой останец террасы высотой 10 м над уровнем водохранилища и сохранившимися на нем оборонительными сооружениями (3,0 м высотой) раннего железного века и раннего средневековья. По происхождению данный объект является природно-антропогенной геосистемой. В период естественно-природного развития средней части Маклашеевского II городища преобладало почвообразование на относительно-выровненных поверхностях и формирование слаборазвитых почв – дерново-карбонатных, впоследствии погребенных делювием. В погребенных почвах заметно улучшение структурности и водостойчивости до хорошей оценки по сравнению с перекрывающим ее делювием. Кроме того, произошло увеличение содержания углерода гумуса почти в 1,5 раза, понизилась актуальная кислотность до нейтральной, повысилась гидролитическая кислотность, по сравнению с перекрывающим делювием.

Ключевые слова: погребенные почвы, городище, индекс химического выветривания, дерново-карбонатные почвы, естественно-природное развитие.

Благодарности: Авторы выражают благодарность за участие в полевых работах студенту географического факультета Московского педагогического государственного университета В.С. Ломову.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Спиридонова И.Н., Ломов С.П. Погребенные почвы средней части Маклашеевского II городища (Среднее Поволжье) // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 228–239. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-228-239.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-228-239

I.N. Spiridonova, S.P. Lomov

Penza State University of Architecture and Construction,
Penza, 440028, Russian Federation

Buried soils of the middle part Miklashevsky II settlement (Middle Volga region)

Maklasheevsky II settlement is a complex archaeological site, which includes settlements of the early Iron Age and the early Middle Ages, separated by more than six hundred years of natural development and transformation of anthropogenic structures. Maklasheevsky II ancient settlement is a remnant of a terrace 10 m high above the reservoir level and the defensive structures (3.0 m high) of the Early Iron Age and the early Middle Ages preserved on it. By origin, this object is a natural and anthropogenic geosystem. During the period of natural development of the middle part of the Maklasheevsky II settlement, soil formation prevailed on relatively flat surfaces and the formation of underdeveloped soils – sod-carbonate, subsequently buried by deluvium. In buried soils, an improvement in structure and water resistance is noticeable, up to a good estimate, in comparison with overlapping deluvium. In addition, there was an increase in the carbon content of humus by almost 1.5 times, the actual acidity decreased to neutral, the hydrolytic acidity increased, compared with overlapping deluvium.

Key words: buried soils, settlement, chemical weathering index, sod-carbonate soils, natural development.

Acknowledgments: The authors are grateful to V.S. Lomov, the student of the Faculty of Geography of Moscow Pedagogical State University, for participating in the field work.

CITATION: Spiridonova I.N., Lomov S.P. Buried soils of the middle part Miklashevsky II settlement (Middle Volga region). *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 228–239. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-228-239.

Введение

Палеопочвенные исследования стали неотъемлемой частью комплексного изучения археологических памятников. Почвенно-археологический метод позволяет комплексно изучить археологические памятники, в первую очередь – курганные сооружения и поселения. Применение почвенно-археологического метода связано с изучением почв археологических памятников, стоянок древнего человека. Актуальность изучения палеопочвенных профилей заключается в изучении почв насыпей, выемок и погребенных почв. Почвы современной поверхности служат фоном для сопоставления с вышеперечисленными. Археологическим методом устанавливаем время погребения почвы, начало почвообразования на насыпях и выемках. Путем сопоставления погребенных почв друг с другом и с современной фоновой почвой выявляются этапы и прослеживаются изменения скорости почвообразования. В результате изучения погребенных почв возможна реконструкция природных условий различных временных срезов. Актуальность исследований Маклашевского II городища заключается в сохранении археологических памятников, которые разрушаются абразионными процессами Куйбышевского водохранилища, и в пополнении научной информации по эволюции почв и природной среды лесостепной зоны Среднего Поволжья, полученных в результате почвенно-археологических исследований.

Маклашевское II городище представляет собой пример ранней «оседлости» кочевых племен. Культурные слои Маклашевского II городища – ананьинская и именьковская культурно-исторические общности, разделенные восьмисотлетним перерывом природного развития степного ландшафта, – представляют собой сложный и многослойный археологический памятник. Городище находится на границе Республики Татарстан и Ульяновской области на расстоянии 3,6 км к юго-востоку от церкви д. Полянки и в 16 км к югу от г. Булгары (Спасский район Республики Татарстан) (рис. 1). Большая часть останца террасы, вместе с городищем, расположенном на ней, была уничтожена за время существования водохранилища с 1957 г., в результате абразионной переработки берегов [Ломов, Чижевский, Спиридонова, 2018; Комплексные исследования..., 2018].

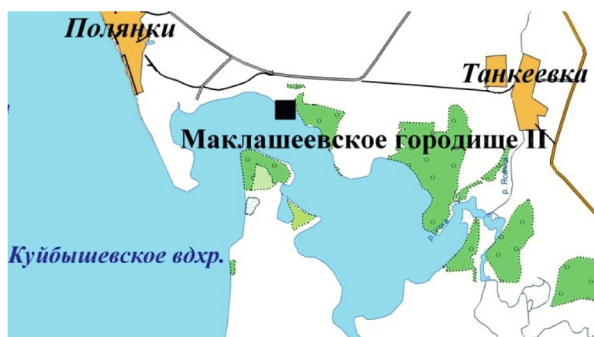


Рис. 1. Местоположение Маклашеевского II городища

Fig. 1. Location of Maklasheevsky II settlement

Методы и материалы исследования

Время завершения хозяйственной деятельности в пределах Маклашеевского II городища ананьинской культурно-исторической общности, согласно результатам радиоуглеродного датирования, можно отнести к середине V в. до н.э. В дальнейшем носители постмаклашеевской культуры ананьинской культурно-исторической общности покинули городище и наступил этап развития Маклашеевского II городища, характеризующийся прерывистым разрушением вершинной части первичного шишковидного вала под воздействием процессов выветривания, склоновой денудации в восточной части раскопа. На западной стороне части городища, в понижении между ананьинскими валами, скапливались талые и дождевые воды, которые размывали вал ананьинского времени. Продукты разрушения вала покрывали склон и скапливались у его подножия, вследствие чего произошло природное укрепление вала и отчасти территории поселения. Оплывший вал был перекрыт маломощной почвой, которая впоследствии оказалась погребенной [Исследование оборонительных сооружений..., 2016].

Методами исследований являются почвенно-археологические, сравнительно-географические, привлекался дополнительный метод сравнительного геохимического анализа фоновых, погребенных почв, позволяющий проведение реконструкции палеосреды различных временных срезов голоцена. Были рассчитаны отношения индексов химического выветривания – CIA (The Chemical Index of Alteration). Датирование археологических памятников проводилось специальными археологическими методами.

Результаты работ и их обсуждение

Примером морфологического строения погребенной почвы средней части Маклашеевского II городища постананьинского развития служит полевое описание разреза.

Делювий¹ – 102–110 см – осветленный с белыми пятнами карбонатов. Очень плотный. Тонкопористый опесчаненный лессовидный суглинок.

Делювий² – 110–120 см – более темный из-за пятен серого гумуса уплотненный. Красные обломки (переотложенного) прокала перемежаются с белесыми точками карбонатов. Встречаются линзовидные формы осветленного суглинка, толщиной от 2 до 4 см.

[A₁] – 120–131 см – серый гумусированный плотный погребенный горизонт. Насыщен обломками обугленной древесины и прокала. Горизонт плитчатой структуры. Переход заметный особенно в правой части разреза.

Са – 131–136 см – светло-серого цвета с пятнами буровато-желтого оттенка. Фрагменты светлого суглинка и пятен гумусированной массы.

Анализ морфологического строения средней части городища свидетельствует о сложности верхней части делювиальных отложений и неоднородности мелкоземистого материала. В нижней части сформировалась молодая слабо развитая, впоследствии погребенная делювием, почва. По структуре почвенных горизонтов ее можно диагностировать как дерново-карбонатную почву (рис. 2).

Гранулометрический состав средней части Маклашеевского II городища природного развития характеризуется преобладанием фракций крупного и мелкого песка, в сумме составляющих более 50,0%. В пределах фракции пыли заметно преобладает крупная – 19,9–20,8%. Илистая фракция достигает величин 16,7%, а фракция физической глины составляет 26,6%, по которой определяется гранулометрический состав – легкий суглинок [Почвенно-археологические исследования..., 2018].

Химические показатели делювия и погребенной почвы средней части Маклашеевского II городища свидетельствуют о невысоком содержании углерода гумуса в делювиальных отложениях – 0,9%. В погребенных почвах содержание углерода гумуса увеличилось до 1,4%. Актуальная кислотность слабощелочная – pH 7,4, в пределах делювиальной толщи. В погребенной почве [A] величина pH понизилась до 6,9, т.е. слабощелочная среда стала почти нейтральной. Валовые формы фосфора характеризуются повышенными величинами в погребенной почве – 0,53%, по сравнению с делювием – 0,33%. Свообразно распределение подвижных форм калия и фосфора. В погребенных почвах обменного калия гораздо больше – 130 мг/кг, по сравнению с перекрывающим

их делювием – 80 мг/кг. Содержание подвижного фосфора необычно много – 1000 мг/кг в делювии и вдвое меньше – 410 мг/кг в погребенных почвах (табл. 1).



Рис. 2. Фрагмент профиля:

An2 – насыпные слои, относящиеся к строительству и ремонту шишковидного вала; An3 – насыпные слои, связанные со строительством дуговидного вала; NS – погребенная почва средней части Маклашеевского II городища естественно-природного развития (natural sediments)

Fig. 2. Profile fragment:

An2 – bulk layers related to the construction and repair of the pineal shaft; An3 – bulk layers associated with the construction of an arcuate shaft; NS – buried soil in the middle part of Maklasheevsky II ancient settlement of natural sediment

В целом необходимо отметить природное развитие средней части Маклашеевского II городища образованием молодых почв, впоследствии погребенных делювием, с различными морфологическими признаками и физико-химическими параметрами.

Валовой химический состав характеризуется следующими параметрами. Содержание SiO_2 находится в пределах 68,13% как в делювии, так и в погребенной почве. Для объектов природного развития характерно

Таблица 1

**Физико-химические и химические показатели делювия и погребенных почв
средней части Маклашевского II городища
[Physical-chemical and chemical indicators of deluvium and buried soils
of the middle part of Maklasheevsky II settlement]**

Индексы горизонтов [Soil horizon indices]	Глубина, см [Depth, cm]	C _{орг.} , % [Humus]	рН H ₂ O	H _t [Hydrolytic acidity]	Сумма поглощенных оснований [The amount of absorbed bases]	Емкость поглощения [Absorption capacity]	Валовые формы, % [Gross forms, %]		Подвижные формы, мг/кг [Fluid forms, mg/kg]		CaCO ₃ , %
							K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	
Делювий и погребенная почва [A] природного развития [Deluvium and buried soil [A] of natural development]											
Делювий [Deluvium]	110–120	0,9	7,4	0,23	32,6	32,83	1,90	0,31	80	1000	6,45
[A]ca	120–131	1,4	6,9	0,33	33,0	33,33	1,79	0,53	130	410	5,12

невысокое содержание оксидов кальция – 1,97% и магния – 2,28%. Характерно невысокое значение оксида натрия – 0,71%. В целом для делювия и погребенной почвы характерно почти одинаковое значение представленных оксидов и отсутствие их динамики между геолого-почвенными объектами в условиях природного развития.

Для детализации и уточнения геохимических особенностей был использован метод расчета геохимических коэффициентов на основе валового химического состава по G. Retallack, Nesbitt и др., Алексееву О.А. и др. [Nesbitt, Young, 1982; Retallack, 2004; Калинин, Алексеев, 2008; Алексеев, Алексеева, 2012]. Отношение оксида титана к оксиду алюминия (0,05) отражает однотипность геохимических условий природного развития центральной части Маклашеевского II городища как во время развития почв, так и отложений делювия.

Индекс химического выветривания CIA (The Chemical Index of Alteration) показывает условия преобразования первичных минералов. Для геолого-почвенных образований центральной части Маклашеевского II городища природного развития коэффициент CIA достаточно высокий – 66,70%. При этом во время развития почв и последующего отложения делювия климатические условия были одинаковые, судя по близким показателям коэффициентов CIA. Об этом свидетельствуют коэффициенты выветривания Al_2O_3 к растворимым основаниям $CaO + Na_2O + K_2O + MgO$, которые имеют одинаковые значения как в погребенной почве, так и в отложениях делювия – 1,08, отражая однотипность природно-ландшафтных условий (табл. 2).

Заключение

Весь период освоения Маклашеевского II городища подразделяется на четыре этапа. Первый связан с существованием догородищенского неукрепленного поселения, с VII в. до н.э. Сформированная голоценовая почва на поверхности второй надпойменной террасы, до раннего железного века, послужила основой преобразования ее в результате хозяйственной деятельности носителей ананьинской культуры. Второй этап существования городища связан со стадиями строительства на месте догородищенского поселения и ремонтом вала. Третий этап развития Маклашеевского II городища характеризуется прерывистым разрушением вершинной части первичного шишковидного вала под воздействием процессов выветривания, склоновой денудации в восточной части раскопа. Последний (четвертый) этап строительства городища связан с носителями именковской культуры. В течение более чем восьмисотлетнего естественно-природного развития средней части

Таблица 2

**Геохимические коэффициенты делювия и погребенной почвы
центральной части Маклашевского II городища
[Geochemical coefficients of deluvium and buried soil
in the central part of Maklashevsky II settlement]**

Горизонт [Soil horizon indice]	$\frac{\text{TiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	CIA	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO}}$	$\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}}$	$\frac{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{F}_2\text{O}_3}$
Делювий и погребенная почва природного развития [Deluvium and buried soil [A] of natural development]									
Делювий [Deluvium]	0,05	66,70	1,08	0,59	0,23	0,09	0,70	0,01	0,05
[A]ca	0,05	66,74	1,08	0,59	0,23	0,09	0,70	0,01	0,05

Маклашеевского II городища нельзя отрицать слабой или средней степени антропогенного воздействия: в первую очередь – на почвы поселений, и частично – на остатки строительных сооружений. Об этом свидетельствуют данные повышенного содержания фосфора, индикатора антропогенного воздействия на природные геосистемы, в делювиальных отложениях природного развития городища.

В период 800-летнего естественно-природного развития Маклашеевского II городища происходило разрушение оборонительных сооружений, преобладало почвообразование на относительно выровненных поверхностях и локальное восстановление степных дерново-карбонатных почв, впоследствии погребенных делювиом:

- в погребенных почвах заметно улучшилась структурность и водостойчивость по сравнению с перекрывающим ее делювиом;
- увеличилось содержание углерода гумуса в 1,5 раза, понизилась актуальная кислотность, повысилась гидролитическая кислотность, по сравнению с перекрывающим делювиом;
- максимум содержания подвижного фосфора приурочено к делювиальным отложениям, а максимум обменного калия приходится на погребенные почвы;
- распределение оксидов валового химического состава отличаются равномерностью как в погребенных почвах, так и перекрывающих их делювиальных наносах;
- индекс химического выветривания CIA характеризуется высоким показателем, отражающим субгумидные условия выветривания и почвообразования, благоприятные для преобразования первичных минералов.

Библиографический список / References

Алексеев А.О., Алексеева Т.В. Оксидогенез железа в почвах степной зоны. М., 2012. [Alekseev A.O., Alekseeva T.V. Oksidogenez zheleza v pochvah stepnoy zony [Iron oxidogenesis in the soils of the steppe zone]. Moscow, 2012.]

Исследование оборонительных сооружений Маклашеевского II городища в 2014 г. / Чижевский А.А., Хисьяметдинова А.А., Вязов Л.А. и др. // XV Бадеровские чтения по археологии Урала и Поволжья. Материалы всероссийской научно-практической конференции, г. Пермь, 9–12 февраля. Пермь, 2016. С. 119–125. [Chizhevskiy A.A., Hisyametdinova A.A., Vyazov L.A., Lyganov A.V., Husnutdinov E.A. A study of the defenses of the Maklasheevsky II site in 2014. XV Baderovskie chteniya po arheologii Urala i Povolzhya. Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Perm, 9–12 fevralya. Perm, 2016. Pp. 119–125.]

Калинин П.И., Алексеев А.О. Геохимические характеристики погребенных голоценовых почв степей Приволжской возвышенности // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География, Геоэкология. 2008. № 1.

С. 9–15. [Kalinin P.I., Alekseev A.O. Geochemical Characteristics of the Holocene Layer Soils of the Privolzhskaya Hills Steppes. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2008. № 1. Pp. 9–15.]

Комплексные исследования почв и отложений Маклашеевского II городища (культурный слой раннего средневековья) / Ломов С.П., Чижевский А.А., Вязов Л.А. и др. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42. № 3. С. 332–345. [Lomov S.P., Chizhevskiy A.A., Vyazov L.A., Hisyametdinova A.A., Spiridonova I.N. Integrated research of soils and sediments of Maklasheevsky II City (cultural layer of early medieval). *Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences*. Vol. 42. № 3. Pp. 332–345.]

Ломов С.П., Чижевский А.А., Спиридонова И.Н. Почвы поселений в окрестностях городища Маклашеевка II лесостепной зоны Среднего Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. № 18 (2). С. 88–96. [Lomov S.P., Chizhevskiy A.A., Spiridonova I.N. The soils of settlements in the limits of the Maklashcheevka City II of the forest-steppe zone of the Middle Volga Region. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Earth Sciences*. 2018. № 18 (2). Pp. 88–96.]

Почвенно-археологические исследования Маклашеевского II городища (культурный слой раннего железного века) / Ломов С.П., Чижевский А.А., Хисяметдинова А.А., Спиридонова И.Н. // Археология Евразийских степей. 2018. № 2. С. 290–310. [Lomov S.P., Chizhevskiy A.A., Hisyametdinova A.A., Spiridonova I.N. Soil-archaeological studies of Maklasheevka II settlement (cultural layer of the early iron age). *Archaeology of the Eurasian Steppe*. 2018. № 2. Pp. 290–310.]

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climate of sand stone and munstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Nature*. 1982. Vol. 299. Pp. 715–717.

Retallack G. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time. *Treatise On Geochemistry*. 2004. Vol. 5. Pp. 581–605.

Статья поступила в редакцию 10.04.2019, принята к публикации 28.04.2019

The article was received on 10.04.2019, accepted for publication 28.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Спиридонова Ирина Николаевна – аспирант кафедры землеустройства и геодезии факультета управления территориями, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Irina N. Spiridonova – graduate student at the Department of Land Management and Geodesy of the Faculty of Territory Management, Penza State University of Architecture and Construction

ORCID: 0000-0001-6167-7320

E-mail: irunekspir@yandex.ru

Ломов Станислав Петрович – доктор географических наук, профессор; профессор кафедры недвижимости и права факультета управления территориями, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Stanislav P. Lomov – Dr. Biol. Hab.; professor at the Department of Real Estate and Law of the Faculty of Territory Management, Penza State University of Architecture and Construction

ORCID: 0000-0002-8001-8803

E-mail: stas_lomov@mail.ru

Заявленный вклад авторов

И.Н. Спиридонова – участие в проведении полевых и лабораторных исследований, анализ первичных данных, подготовка текста статьи

С.П. Ломов – общее руководство направлением исследования, организация и проведение полевых исследований

Contribution of the authors

I.N. Spiridonova – participation in field and laboratory research, analysis of primary data, participation in the preparation of the text of the article

S.P. Lomov – general direction of research, organization and conduct of field research

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-240-262

А.Г. Шепелев

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения РАН,
677010 г. Якутск, Российская Федерация

Эмиссия углекислого газа и азотминерализующая составляющая чернозема выщелоченного в лесостепи Приобья, Западная Сибирь

В модельном инкубационном опыте исследовано влияние различных агроценозов на продуцирование CO_2 и азотминерализующую способность почвы накапливать нитратный азот (N—NO_3). Показано, что скорости минерализации почвенного органического вещества (ПОВ) снижались от первого снятого учета к последнему в следующем порядке (в процентах): $57 \rightarrow 63 \rightarrow 68$, дальнейшее наблюдение за выделением CO_2 привело к стабилизации. Применение минеральных удобрений в сравнении с агроценозами без удобрений увеличивало выделение CO_2 на 15–24% в зависимости от изучаемого варианта. Отмечено, что агроценоз с отчуждением надземной биомассы соломы оказывал наименьшую нагрузку на суммарную минерализацию почвенного органического вещества – в среднем по двум уровням удобренности она составила 489 мг С/г. Использование дисперсионного анализа в опыте не выявило достоверных отличий во взаимодействии признаков на накопление N—NO_3 , однако решение корреляционных и регрессионных зависимостей способствовало нахождению тесной связи. Возможно, это связано с еще неутраченным природным потенциалом чернозема выщелоченного возобновлять и генерировать из доступного материала (растительных остатков, минеральных компонентов) необходимый углерод и азот для поддержания иммобилизационно-минерализационных процессов. Подобное следствие усиливалось в агроценозе с минеральными удобрениями и при большем поступлении надземных и подземных растительных остатков в почву, в варианте зарегистрировано максимальное выделение CO_2 – 634 мг С/г, а также установлены высокие статистические показатели изученных признаков.

Ключевые слова: выделение углекислого газа, почвенное органическое вещество, минерализация, нитратный азот, растительные остатки.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Шепелев А.Г. Эмиссия углекислого газа и азотминерализующая составляющая чернозема выщелоченного в лесостепи Приобья, Западная Сибирь // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 240–262. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-240-262.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-240-262

A.G. Shepelev

Melnikov Permafrost Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Yakutsk, 677010, Russian Federation

Carbon dioxide emission and nitrogen mineralizing component of chernozem leached in the forest-steppe of Priobye, Western Siberia

In model incubation experiment the effect of various agrocenoses on CO₂ production and nitrogen-mineralizing ability of the soil to accumulate nitrate nitrogen (N—NO₃) was investigated. It was shown that the rates of mineralization of soil organic matter decreased from the first record taken to the last in the following order (in percent): 57 → 63 → 68, further observation of CO₂ emissions led to a smoothing of redox reactions. The use of mineral fertilizers in comparison with agrocenoses without fertilizers increased CO₂ emissions by 15–24%, depending on the studied variant. It was noted that the agrocenosis with the alienation of aboveground biomass of straw exerted the least load on the total mineralization of soil organic matter – on average, in two levels of fertility, it was 489 mg C/kg. The use of analysis of variance in the experiment did not reveal significant differences in the interaction of signs on the accumulation of N—NO₃, however, the solution of correlation and regression dependences contributed to finding a close relationship. It was determined by the capabilities of leached chernozem to compensate losses and restore the carbon-nitrogen potential of the soil. A similar

consequence increased in the agrocenosis with mineral fertilizers and with a greater flow of aboveground and underground plant residues into the soil, the maximum CO₂ emission was registered in the variant 634 mg C/kg, and high statistical indicators of the studied signs were established.

Key words: carbon dioxide emissions, soil organic matter, mineralization, nitrate nitrogen, plant residues.

CITATION: Shepelev A.G. Carbon dioxide emission and nitrogen mineralizing component of chernozem leached in the forest-steppe of Priobie, Western Siberia. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 240–262. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-240-262.

Агроэкосистемы планеты являются не только стоком углекислого газа (CO₂), но и выступают в роли его источника, выбросы измеряются величиной от 1,0 до 12,0% от всего антропогенного парникового газа [Metz et al., 2007; Smith et al., 2009; Loubet et al., 2011]. По оценкам [Кудеяров, 2005; Заварзин, Кудеяров, 2006; Курганова, Кудеяров, 2012] для территории России сток углерода в них составляет 4 Мт в год от общего пула, заключенного в Северном полушарии (47 Мт углерода в год), при этом масштабы потока углерода изменяются в зависимости от характера [Templer et al., 2005] использования агроценоза в определенной биоклиматической зоне. Низкая продуктивность агроценозов по сравнению с луговыми фитоценозами проявляется в количестве поступающих растительных остатков, которые определяют интенсивность эмиссионного процесса CO₂ и уровень углерода в почве.

Рядом авторов [Bremer et al., 2002; Soegaard et al., 2003; Van den Bogaart et al., 2008; Kutsch et al., 2010; Peters et al., 2013] показано, что ежегодное использование агроэкосистем для получения растениеводческой продукции повышают чистые потери углерода и снижают его запасы. Для уменьшения утраты исходного содержания органического углерода из агроэкосистемы необходимы вспомогательные компоненты, которые компенсировали бы эти потери за счет большего поступления растительных остатков. Одним из вариантов могут выступать азотные удобрения, увеличивающие неликвидную биомассу растений, которая остается в почве для поддержания баланса углерода на уровне, близком к исходному значению. Азот, находящийся в доступной для растений форме, стимулирует их вегетативную продуктивность и повышает поглощение CO₂ из атмосферы, но это не означает, что почва будет обогащена органическим углеродом. Связано это с поступлением растительного вещества в почву агроценоза, увеличивающим потери органического

вещества, и невозможностью накопить избыточное количество углерода, а добавление азота в почву не приносит достоверного вклада в связывание CO_2 [Schimel et al., 2001; Hungate et al., 2009]. Однако азотное влияние прослеживается, и можно ожидать, что эффект от внесения минеральных удобрений будет проявляться в будущем. Во множестве взаимосвязанных причин, инициирующих потери и сток углерода, нельзя исключать основного фактора – интенсивности разложения органического вещества гетеротрофными микроорганизмами, активность которых во многом зависит от состава и качества поступающего растительного субстрата [Zak et al., 2000; Koch et al., 2007; Wang et al., 2014; Liu et al., 2016], что, в конечном счете, приводит к минерализации углерод- и азотсодержащих соединений, тесно коррелирующих между собой.

Вмешательство человека в функционирование естественных ценозов провоцирует неизбежные нарушения взаимодействия в системе почва–углерод–азот. Вследствие этого ускоряются эмиссионные потоки CO_2 , преумножающие вклад в планетарный цикл углерода, азот при этом играет контролирующую роль в ключевых функциях этого цикла. По мнению [Moors et al., 2010], в агроценозах сложно измерить чистый обмен между углеродом и атмосферой, поскольку поступление углерода в виде органических остатков и минерализация находятся в равновесном положении. Также к определению методической сложности относится то, что соединения углерода в наземных экосистемах состоят из отдельных индивидуальных пулов: микробной биомассы и растительной фитомассы, корневых выделений и разнообразных фракций углерода [Manzoni, Porporato, 2009]. В совокупности пулы формируют почвенное органическое вещество, которое является генеральным носителем всего континуума [Семенов, Когут, 2015] органических соединений. В результате микробному разложению подвергается та часть почвенного органического вещества, которая наиболее минерализуется до CO_2 и других газов. При физико-химических и биологических внешних воздействиях возможна вероятность снижения скорости разложения [Schmidt et al., 2011], что позволит почвенному органическому веществу находиться в консервативном состоянии. Именно поэтому окружающая среда оказывает доминирующее влияние на устойчивость или изменчивость углерода в любых его формах, находящегося в почве и это, прежде всего, связано со свойствами самого ценоза.

Основной целью статьи является анализ антропогенного влияния на продуцирование CO_2 из чернозема выщелоченного и протекающих изменений в азотном фоне (по накоплению N—NO_3) при различных эксплуатационных вариантах агроценоза.

Материалы, методы и район проведения исследования

Мониторинговый многофакторный стационарный опыт находился в центральной лесостепи Новосибирского Приобья на левом берегу р. Обь. Географические координаты расположения стационара: 54°55'26"N, 82°57'11"E.

Обсуждаемые данные получены в ходе выполнения модельного лабораторного эксперимента. Для его реализации смешанные почвенные образцы отбирали в вышеуказанном стационаре из чернозема выщелоченного (Haplic Chernozems, по [IUSS Working., 2014]) среднемощного среднегумусного среднесуглинистого из слоя почвы 0–25 см в 5-кратной повторности. Элементный состав объекта изучения представлен слоем почвы 0–28 см: С общий – 3,66%, N общий – 0,30%, P₂O₅ и K₂O (по Чирикову) – 23 и 18 мг / 100 г почвы соответственно, pH водной вытяжки составлял 7,2, солевой – 6,6.

В почвенно-географическом районировании исследуемая территория относится к суббореальному (умеренному) поясу Центральной лесостепной и степной областей, к Предалтайской лесостепной провинции черноземов оподзоленных, выщелоченных и серых лесных почв [Почвенно-географическое., 1962]. Длительное время чернозем выщелоченный эксплуатировался под зерновой агроценоз (12 лет), который различался характером использования и количеством поступающей в почву растительной биомассы. В первом агроценозе надземная биомасса соломы отчуждалась с поля – первый вариант. Второй отличался от первого тем, что солома оставлялась на поле и заделывалась в почву – второй вариант. Третий был представлен биомассой смеси вико-овса, в котором стерня и корни оставались в почве, а надземная часть отчуждалась из оборота – третий вариант. Четвертый агроценоз характеризовался наибольшим поступлением растительного вещества в почву, надземная и подземная части вико-овса заделывались в почву – четвертый вариант.

В агроценозе (в полевых условиях) применялись два уровня удобренности (минеральный компонент): Y0 – без применения удобрений и Y2 – в паровом поле вносили P₄₀ в виде двойного суперфосфата, под первую пшеницу – N₄₀, вторую пшеницу – N₈₀ в виде аммиачной селитры.

Азотминерализующую способность почвы определяли по накоплению нитратного азота в лабораторном опыте в электрических термостатах при температуре 25 °С и влажности 60% полной влагоемкости. Одновременно в процессе изучения азотминерализующей способности в инкубированных почвенных образцах определяли минерализационные

потери CO_2 . Просеянную почву через сито с диаметром ячейки 2 мм по 300 г (в расчете на воздушно-сухую навеску) помещали в полиэтиленовые широкогорлые сосуды емкостью 500–600 мл с завинчивающимися герметично крышками. Сосуды с почвой инкубировали в течение 60 дней, разделив сроки эксперимента на 4 этапа по 15 дней; в табличном материале сроки эксперимента указаны римскими цифрами I, II, III и IV во избежание перегруженности таблиц. В каждом варианте модельного опыта была 15-кратная повторность. В этапы отбора образцов из сосудов изымалось по 15 г влажной почвы, пробу подсушивали и в ней определяли содержание нитратного азота. Для этого брали навеску воздушно-сухой почвы (10 г), помещали в колбу на 250–300 мл и приливали 50 мл 0,03 н. раствора K_2SO_4 . После 3 минут встряхивания суспензию фильтровали через бумажный складчатый фильтр, дальнейшие исследования проводили по [Иодко, Шарков, 1994]. Погрешность измерения при аналитической работе составляла 5%.

При определении продуцирования CO_2 почвой в лабораторных условиях использовали раствор щелочи – 5 мл 1 н. NaOH . Его заливали в чашечки диаметром 4,5 см и высотой 6,8 см. Экспозиция зависела от интенсивности продуцирования CO_2 почвой. Известно, что в начале активизации почвы минерализационный процесс имеет динамичный и интенсивный период продуцирования CO_2 , поэтому в первый этап опыта учет выделения проводили 5 раз с разными интервалами экспозиции щелочи: 24, 24, 48, 96 и 168 часов соответственно. Последующие три этапа каждые 360 часов. Расчет продуцирования углекислого газа в лабораторных условиях проводили абсорбционным методом [Шарков, 2005], погрешность определения составляла 5%.

Ранее в экспериментах [Шарков, 1984] показано, что величина образца не влияет на продуцирование CO_2 . Следовательно, доказывает применение абсорбционного метода для оценки истинной скорости продуцирования CO_2 почвой вне зависимости от массы образца в эксперименте, единственное правило, которое должно соблюдаться: навеска почвы не должна быть ниже 100 г.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе StatSoft STATISTICA for Windows 6.1. Для исключения искаженных показателей в опыте использовалась типическая выборка из генеральной совокупности наблюдений. Выявление связей детерминантов проводилось с применением дисперсионного, корреляционного и пошагового регрессионного анализов. Данные представлены в виде средних арифметических со стандартными отклонениями.

Результаты исследования и обсуждение

Возделываемые культуры в агроценозе являются результатом чистой первичной продукции фотосинтеза, которая затем становится источником CO_2 [Кудеяров, 2015]. В образованную биомассу трансформируется органический углерод, остающийся после микробного разложения чистой первичной продукции. Это связано с производством растениеводческой продукции, которое имеет узкую органическую природу круговорота веществ в агроэкосистеме. Доля углерода, возвращаемая обратно в пашню, ограничена и не компенсирует затрат углерода органического вещества почв на микробное дыхание в процессе культивирования почв, в том числе на минерализацию. В результате аграрное хозяйство представляет собой чистый источник CO_2 [Кудеяров, 2018].

В опыте продуцирование CO_2 инкубированной почвой повышалось по мере увеличения поступления в почву растительных остатков, заметно это прослеживалось на вариантах с оставлением растительных остатков (табл. 1).

Внесение минеральных удобрений инициировало увеличение минерализации на всех вариантах, чего нельзя сказать о способности почвы накапливать нитратный азот (табл. 2). Влияние минерального компонента на выделение CO_2 регистрировалось в общих масштабах образованного углерода за весь период опыта, и существенные достоверные отличия ($p < 0,05$) заключались в количественных показателях выделившегося газа между различными агроценозами. Меньше всего минерализовалось почвенное органическое вещество в агроценозе, где надземная биомасса соломы отчуждалась с поля. Увеличение продукции углекислого газа в этом варианте по сравнению с неудобрявшимся фоном составило 9%. В варианте, где солома оставлялась на поле и заделывалась в почву, повышение составило 5%, в третьем варианте – на 8%, а в четвертом агроценозе с максимальным поступлением растительного вещества – всего лишь на 9%. Минеральные удобрения создавали условия, способные изменить интенсивность минерализации органической биомассы, поступающей в почву. Отчетливо это проявлялось в первом случае, несмотря на то, что солома удалялась с поля, и приход углерода в почву минимален. Оставление растительной биомассы вико-овсяной смеси в сочетании с минеральным компонентом является импульсом для более интенсивного процесса минерализации.

Таблица 1

**Изменения выделения CO₂ под действием поступления растительной биомассы
и минерального компонента
[Changes in CO₂ emissions due to the influx of plant biomass and mineral component]**

Вариант [Variant]	Срок [Time]				Сумма [Sum]
	I	II	III	IV	
Выделение CO ₂ , мг C/кг [CO ₂ emissions, mg C/kg]					
Y0					
1	211 ± 10	103 ± 2	82 ± 4	71 ± 4	467 ± 15
2	245* ± 12	113 ± 3	97* ± 5	82 ± 5	537* ± 21
3	268* ± 11	120* ± 5	101* ± 5	89* ± 5	578* ± 23
4	272* ± 12	119* ± 5	101* ± 5	89* ± 4	581* ± 19
LSD ₀₅	32	11	13	13	55
Y2					
1	233 ± 14	107 ± 3	90 ± 3	80 ± 4	510 ± 20
2	258 ± 7	117 ± 4	104 ± 5	88 ± 4	567 ± 16
3	305* ± 15	124* ± 3	108* ± 5	93* ± 5	630* ± 24
4	304* ± 11	126* ± 5	107* ± 6	97* ± 5	634* ± 21
LSD ₀₅	34	11	14	13	57

Окончание табл. 1

Вариант [Variant]	Срок [Time]				Сумма [Sum]
	I	II	III	IV	
Выделение CO ₂ , мг C/kg [CO ₂ emissions, mg C/kg]					
Влияние минерального компонента и растительных остатков на выделение CO₂ из почвы инкубационного эксперимента [The influence of the mineral component and plant residues on the release of CO ₂ from the soil of the incubation experiment]					
1	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
2	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
3	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
4	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Пр и м е ч а н и е. * – различия с контрольным вариантом достоверны; (+) – влияние удобрённости на выделение CO₂ имеет положительную значимость. Здесь и далее: ± – стандартное отклонение; LSD₀₅ – наименьшая существенная разность при уровне достоверности 95%.
[Note. * – differences with the control variant are reliable, (+) – the effect of fertilization on CO₂ emissions is positive. Here and hereinafter: ± – standard deviation, LSD₀₅ – least significant difference at confidence level 95%.]

Таблица 2

Азотминерализующая способность почвы при различном количестве поступления растительной биомассы и минерального компонента
 [Nitrogen mineralizing ability of the soil with different amounts of vegetation biomass and mineral component]

Вариант [Variant]	Срок [Time]				Сумма [Sum]
	I	II	III	IV	
	Накопление N—NO ₃ , мг N / кг [Accumulation of N—NO ₃ , mg N / kg]				
Y0					
1	31 ± 2	38 ± 3	49 ± 2	63 ± 5	181 ± 10
2	34 ± 3	40 ± 3	52 ± 2	65 ± 5	191 ± 12
3	36 ± 3	43 ± 3	56 ± 3	73 ± 7	208 ± 16
4	36 ± 4	43 ± 3	57 ± 4	74 ± 7	210 ± 18
LSD ₀₅	8	8	8	17	40
Y2					
1	36 ± 4	41 ± 3	54 ± 3	65 ± 4	196 ± 14
2	36 ± 4	46 ± 5	59 ± 5	71 ± 7	212 ± 20
3	38 ± 4	46 ± 4	59 ± 4	77 ± 7	220 ± 20
4	43 ± 5	50 ± 4	60 ± 5	76 ± 6	229 ± 19
LSD ₀₅	12	12	12	18	52

Окончание табл. 2

Вариант [Variant]	Срок [Time]				Сумма [Sum]
	I	II	III	IV	
	Накопление N—NO ₃ , мг N / кг [Accumulation of N—NO ₃ , mg N / kg]				
Влияние минерального компонента и растительных остатков на азотминерализующую способность почвы [The influence of the mineral component and plant residues on nitrogen mineralizing ability of the soil]					
1	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
2	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
3	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
4	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Примечание. (-) – удобрение не влияет на накопление нитратного азота.
[Note. (-) – fertilizer does not affect the accumulation of nitrate nitrogen.]

В результате деструкции растительного материала и израсходования легкоминерализуемых фракций углерода [Шепелев, Самохвалова, 2017] наибольшие потери CO_2 зафиксированы в первый срок отбора, подобная тенденция характерна для всех без исключения вариантов эксперимента. В последующие наблюдения за минерализацией органического вещества и с окончанием сроков проведения опыта активность продуцирования CO_2 снизилась до наименьших значений по сравнению с начальными пиками выбросов. Для наглядности продемонстрируем первый и четвертый варианты агроценоза с минеральным фоном Y2, которые наиболее контрастно отличаются как по поступлению органических остатков, так и по продуцированию CO_2 . Во второй срок опыта уменьшение минерализационного потенциала агроценоза с отчуждением надземной биомассы соломы составило 54% от первоначального срока, в третий срок – 61%, четвертый – 66%. В четвертом агроценозе с заделкой в почву надземной и подземной частей вико-овса снижение составило 59, 65 и 68% соответственно. Из этого примера следует, что после утраты основной части органического материала окислительно-восстановительные процессы в почве замедляются, а со временем и вовсе затухают, если не пополнять почву новой органической биомассой.

Суммарные потери углерода изменялись в зависимости от природы использования агроценоза. Для урвней удобренности Y0 и Y2 оставление соломы повышало суммарное выделение CO_2 на 11–15%, а при сохранении в агроценозе только стерни и корней, а также всей биомассы – на 24% соответственно. По мнению [Квиткина и др., 2014], почвенная микрофлора по-разному реагирует на внесение минеральных удобрений. Действие удобрений может оказывать положительный эффект на активность микроорганизмов, если они применены в малых дозах. В этом случае происходит быстрая минерализация легкодоступных органических соединений за короткий промежуток времени. И наоборот, длительное использование удобрений в высоких дозах приводит к угнетению деятельности микроорганизмов.

Возможно, в этом и есть причина отсутствия влияния фактора удобренности и поступления растительных остатков на накопление нитратного азота, несмотря на то, что в агроценозе применялись оптимальные дозы минеральных удобрений, а ежегодное применение растительных остатков способствовало иммобилизации почвенного азота. Вследствие длительного прихода в агроценоз органической биомассы с азотно-фосфорными удобрениями, интенсивность иммобилизации уступала минерализационному процессу. Микроорганизмами запускался механизм разложения непосредственно растительных остатков, вовлеченных

в цикл почвенного органического вещества, а минерализация азота происходила в результате гидролиза и биоразложения из органического вещества, конечные продукты переработки этого процесса поглощались и использовались растениями на формирование урожая. Как следствие в почву переходила консервативная часть азота, которая оставалась недоступной для питания растений и определить ее долю участия среди лабильной части (нитратной формы) не представлялось возможным.

В исследованиях [Гамзиков, 2014] установлено, что сибирским почвам свойственна высокая кинетика иммобилизации азота удобрений и меньшее его потребление растениями, поскольку в почвах закрепляется всего лишь 77–86% азота. К тому же под растениями иммобилизация азота на 1/3 ниже, чем в почвах без растений. Внесение минеральных удобрений ускоряет активность микрофлоры, которая оказывает влияние на скорость и величину почвенного азота. При этом минерализации подвергается около 10% азота легкой фракции, оставшаяся часть удерживается в органической форме. В многообразии реакций, происходящих в почве, определенное значение играет и денитрификация, вызывающая газообразные потери в виде молекулярного N_2 и N_2O .

Дисперсионный анализ не выявил отличий и роли признаков (удобрение и растительные остатки) на накопление нитратного азота (см. табл. 2), другой статистический метод – корреляционный анализ Пирсона – подтвердил влияние изучаемых параметров как на выделение CO_2 и суммарные его потери, так и на азотминерализующую способность почвы накапливать нитратный азот (табл. 3). Причем положительные корреляционные связи варьировали на всем протяжении эксперимента в интервале от 0,7 до 1,0, т.е. степень взаимосвязанных признаков соответствовала высокой и тесной зависимости, имея вид прямой линии.

Коэффициенты вариации полученных значений изменялись в широких пределах от незначительных до неоднородных, что является свидетельством гетерогенности агроценозов, при том, что образцы для эксперимента отбирались тщательным образом. Длительная антропогенная нагрузка проявляется в комплексе мероприятий, направленных на безопасное окультуривание почв, с одной стороны, и истощение естественного уровня биофильных элементов – с другой. Чтобы восполнить часть утраченного, необходимо ежегодно возвращать в агроэкосистему свежие растительные остатки для переработки микроорганизмами с последующим преобразованием в почвенное органическое вещество. Использование минеральных удобрений в первую очередь связывают с питанием для растений и получением высоких урожаев, что можно

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции выделения CO₂ и накопления N—NO₃
между различными вариантами эксперимента
[Correlation coefficients of CO₂ release and N—NO₃ accumulation
between different experimental variants]**

Вариант [Variant]	Срок [Time]							Сумма [Sum]					
	I	II	III	IV	I	II	III		IV				
	Выделение CO ₂ [CO ₂ emissions]								Накопление N—NO ₃ [Accumulation of N—NO ₃]				
У0													
1	$\frac{0,8}{18}$	$\frac{0,9}{9}$	$\frac{0,9}{17}$	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{0,9}{12}$	$\frac{0,8}{20}$	$\frac{0,9}{26}$	$\frac{0,9}{15}$	$\frac{0,8}{29}$	$\frac{0,9}{22}$			
2	$\frac{0,9}{19}$	$\frac{0,7}{9}$	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{0,9}{25}$	$\frac{0,9}{15}$	$\frac{0,8}{29}$	$\frac{0,9}{25}$	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{1,0}{29}$	$\frac{1,0}{24}$			
3	$\frac{0,9}{16}$	$\frac{0,9}{15}$	$\frac{0,9}{20}$	$\frac{0,8}{22}$	$\frac{0,8}{15}$	$\frac{0,9}{36}$	$\frac{0,9}{25}$	$\frac{0,8}{23}$	$\frac{1,0}{38}$	$\frac{1,0}{30}$			
4	$\frac{0,8}{18}$	$\frac{0,7}{15}$	$\frac{0,9}{18}$	$\frac{0,8}{17}$	$\frac{0,8}{12}$	$\frac{0,9}{39}$	$\frac{1,0}{31}$	$\frac{0,9}{25}$	$\frac{1,0}{39}$	$\frac{1,0}{33}$			
У2													
1	$\frac{0,9}{23}$	$\frac{1,0}{10}$	$\frac{0,8}{15}$	$\frac{1,0}{20}$	$\frac{1,0}{15}$	$\frac{0,9}{38}$	$\frac{1,0}{31}$	$\frac{0,8}{23}$	$\frac{1,0}{26}$	$\frac{1,0}{27}$			
2	$\frac{0,8}{11}$	$\frac{0,9}{14}$	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{0,9}{18}$	$\frac{0,8}{11}$	$\frac{0,9}{46}$	$\frac{0,9}{39}$	$\frac{1,0}{30}$	$\frac{1,0}{38}$	$\frac{1,0}{37}$			

Окончание табл. 3

Вариант [Variant]	Срок [Time]							Сумма [Sum]	IV	Сумма [Sum]	
	I	II	III	IV	I	II	III				
	Выделение CO₂ [CO₂ emissions]							Накопление N—NO₃ [Accumulation of N—NO₃]			
3	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{0,8}{10}$	$\frac{0,9}{18}$	$\frac{0,9}{22}$	$\frac{0,9}{42}$	$\frac{0,8}{15}$	$\frac{0,9}{36}$	$\frac{0,9}{28}$	$\frac{1,0}{37}$	$\frac{0,9}{35}$	
4	$\frac{0,8}{14}$	$\frac{0,9}{15}$	$\frac{0,8}{20}$	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{0,8}{41}$	$\frac{0,8}{13}$	$\frac{0,9}{36}$	$\frac{1,0}{29}$	$\frac{1,0}{31}$	$\frac{1,0}{32}$	
	Корреляционные связи между Y0 и Y2 [Correlations between Y0 and Y2]										
1	$\frac{0,8}{20}$	$\frac{0,8}{9}$	$\frac{0,8}{16}$	$\frac{0,7}{24}$	$\frac{0,9}{29}$	$\frac{0,7}{14}$	$\frac{0,9}{28}$	$\frac{0,7}{19}$	$\frac{0,9}{27}$	$\frac{0,9}{24}$	
2	$\frac{0,7}{15}$	$\frac{0,7}{11}$	$\frac{0,7}{19}$	$\frac{0,8}{27}$	$\frac{0,8}{38}$	$\frac{0,7}{13}$	$\frac{0,9}{32}$	$\frac{0,8}{24}$	$\frac{1,0}{34}$	$\frac{0,9}{30}$	
3	$\frac{0,8}{17}$	$\frac{0,6}{12}$	$\frac{0,8}{19}$	$\frac{0,8}{30}$	$\frac{0,9}{39}$	$\frac{0,7}{15}$	$\frac{0,8}{31}$	$\frac{0,7}{26}$	$\frac{1,0}{38}$	$\frac{0,9}{32}$	
4	$\frac{0,7}{15}$	$\frac{0,7}{11}$	$\frac{0,7}{19}$	$\frac{0,7}{28}$	$\frac{0,9}{40}$	$\frac{0,8}{12}$	$\frac{0,8}{33}$	$\frac{0,9}{27}$	$\frac{1,0}{35}$	$\frac{0,9}{32}$	

Примечание. В числителе – коэффициент корреляции, в знаменателе – коэффициент вариации измеряемых значений, %.
[Note. In the numerator – the correlation coefficient, in the denominator – the coefficient of variation of the measured values, %.]

рассматривать как необходимый положительный эффект. Отрицательной стороной применения азотных удобрений является истощение гумуса вследствие их катализирующего действия на микробное сообщество [Moran et. al., 2005; Квиткина, 2014]. Тем не менее, фундаментальное значение минерального азота заключается в ускоренной трансформации углерода растительных остатков в устойчивое почвенное органическое вещество, приводящее к образованию гумуса.

Учитывая сложную иерархическую структуру почвенной системы, регулирующей направление развития почвенного органического вещества с протекающими во времени процессами и реакции бывших цензов, преобразовавшихся в агроценозы, можно продуцировать из имеющегося органического материала элементы, необходимые для экосистемы. В частности, координировать выделение CO_2 из почвы, а также выполнять функцию обеспечения растений азотом и иметь при этом обратную связь с целью восполнить ущерб, причиненный почвенному органическому веществу после вовлечения его в сельскохозяйственный оборот.

Основной резерв доступного растениям азота сосредоточен в почвенном органическом веществе со временем существования в почве 3–10 лет. Поддержание определенного уровня обеспеченности почвы минерализуемым углеродом является важным условием включения содержащегося в почве минерального азота во внутрпочвенное иммобилизационно-реминерализационное циркулирование, т.е. подверженности к быстрой минерализации или иммобилизации азота в зависимости от его содержания в разлагаемом веществе. После отмирания биомассы часть азота минерализуется, а основная подвергается устойчивой иммобилизации, включаясь в состав трудноминерализуемого почвенного органического вещества. Интенсивность двух противоположных процессов зависит от появления в почве легкодоступных микроорганизмам субстратов, источниками которых могут быть растительные остатки и доступные легкоусвояемые фракции почвенного органического вещества. Как следствие, нитратный азот в этом случае может быть легко вымыт из почвы, а вклад микробной биомассы в качестве резерва минерализованного азота существенно уменьшится [Семенов, Лебедева, 2015].

Согласно полученным итоговым результатам, различное использование агроценозов достоверно влияет на суммарное продуцирование CO_2 и накопление N—NO_3 (табл. 4). Установлено, что изъятие из почвы агроценоза растительных остатков и без применения минерального компонента приводит к прямопропорциональной зависимости ($r = 0,73$ при $p = 0,00$), видимо, это связано с почвенным органическим веществом,

которое выступает основным лимитирующим фактором минерального питания растений и поддержания оптимальных свойств почвы [Семенов, Когут, 2015]. Природный потенциал чернозема способен стабилизировать и существенно воздействовать на минерализацию органического вещества без дополнительных стимулирующих вложений в виде органических и технических удобрений, тем самым обеспечивая почву углеродом и нитратным азотом.

Таблица 4

Статистические характеристики выделения CO₂ и азотминерализующего потенциала чернозема выщелоченного в зависимости от степени влияния агроценоза
[Statistical characteristics of the release of CO₂ and nitrogen mineralizing potential of chernozem leached depending on the degree of influence of agrocenosis]

Детерминированность суммарного выделения CO ₂ с аккумуляцией N—NO ₃ в почве [Determinism of total CO ₂ emissions with accumulation of N—NO ₃ in the soil]	Уравнение регрессии [Regression equations]	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>V</i> , %	<i>r</i> ²	<i>p</i>
Y0						
1	$y = 275,9 + 1,055801x$	15	0,73	20	0,53	0,00
2	$y = 327,5 + 1,094510x$	15	0,63	20	0,40	0,01
3	$y = 650,5 - 0,354720x$	15	0,25	23	0,06	0,04
4	$y = 509,7 + 0,341078x$	15	0,82	22	0,40	0,02
Y2						
1	$y = 270,5 + 1,220095x$	15	0,83	21	0,68	0,00
2	$y = 536,8 + 0,135016x$	15	0,67	24	0,43	0,01
3	$y = 502,6 + 0,579077x$	15	0,68	24	0,48	0,04
4	$y = 694,1 + 0,257996x$	15	0,93	22	0,45	0,00

Примечание. *n* – число наблюдений; *r* – коэффициенты корреляции; *V*, % – коэффициенты вариации; *r*² – коэффициент детерминации; *p* – уровень статистической значимости. [Note. *n* – number of observations, *r* – correlation coefficients, *V*, % – coefficients of variation, *r*² – coefficient of determination, *p* – the level of statistical significance.]

Эксплуатация агроценоза под оптимальные дозы удобрений и возвращение в почву свежей зеленой растительной биомассы (4 вариант с Y2) положительно сказывается на связях с изучаемыми условиями функционирования системы: $r = 0,93$ при $p = 0,00$. Следовательно, после включения растительной биомассы в почвенную среду и ее обработки микроорганизмами определенная доля азота реминерализуется, а другая подвергается устойчивой иммобилизации, включаясь в состав трудно-минерализуемого почвенного органического вещества [Лебедева и др., 2018]. Польза такого подхода для агроценоза заключается в увеличении запасов доступного микроорганизмам углерода, который может быть эффективным путем оптимизации азотного режима почвы благодаря поддержанию сбалансированных углеродно-азотных взаимодействий [Семенов, Лебедева, 2015].

Таким образом, полученные уравнения регрессии свидетельствуют, что определяющим признаком является ресурс чернозема минерализовать почвенное органическое вещество и вырабатывать из него достаточное количество азота. Подобный эффект удваивается с большей силой, если применять свежие растительные остатки (вико-овес) в комплексе с оптимальными дозами минеральных удобрений. Использование варианта с оставлением стерни и корней вико-овса с минеральным фоном Y2 также проявляет возможность потенциально обеспечивать почву ведущими биофильными элементами. В единственном варианте выявлена отрицательная связь с низкими статистическими показателями, когда характер использования агроценоза зависел только от стерни и корней без внесения минеральных форм удобрений (вариант 3 при Y0). В целом, анализ уравнений регрессии показал высокие статистические коэффициенты суммарной эмитированности CO_2 и аккумуляции N—NO_3 практически во всех проработанных вариантах.

Выводы

1. В среднем за 60 дней эксперимента минерализационные потери углерода возрастали в следующем ряду по интенсивности выделившегося CO_2 : агроценоз с отчуждением надземной биомассы соломы – агроценоз с оставлением биомассы соломы – агроценоз с оставлением стерни и корней вико-овса – агроценоз с оставлением надземной и подземной части вико-овса. Отчетливых количественных изменений продуцирования CO_2 в зависимости от применения минерального фона в виде N—NO_3 не обнаружено, этот показатель не превышал предела 15% для варианта с внесением соломы и 24% в агроценозе с поступлением надземной и подземной биомассы. Пиковые значения минерализации

углерода зарегистрированы в первые 360 часов опыта. Во второй срок отбора образцов газа активность процесса в среднем уменьшилась на 57%, в третий – на 63% и четвертый – на 68%.

2. При проведении статистического исследования, в частности, для азотминерализующей способности почвы накапливать нитратный азот, возможности дисперсионного анализа оказались ограниченными для оценки значимости изучаемых факторов. Применение корреляционного анализа методом Пирсона решило эту задачу, накопление азота зависело не только от величины органических остатков, но и от уровня удобрения агроценозов. Причем не выражалась подчиненность вариантов к определенному влияющему признаку, во всех исследованных случаях корреляционные коэффициенты варьировали от 0,7 до 1,0, указывая на высокую и тесную связь.

3. Отсутствие точности в дисперсионном анализе заключается в способности чернозема минерализовать углеродистые соединения независимо от характера использования агроценоза, сколько бы в него не поступала растительного материала и доз минеральных удобрений, а также гетерогенностью внутри вариантов. Внесенные минеральные удобрения в большей степени использовались растениями на формирование вегетативной биомассы и урожая, которые частично или полностью возвращались в почву. Более того, потенциальная минерализация органического вещества доминировала над иммобилизацией лабильной формы азота.

4. Обнаруженные связи путем расчета регрессионных уравнений выявили статистически достоверные сведения о роли каждого агроценоза на поведение минерализационной активности почвенного органического вещества при различном приходе свежего растительного материала и применении минеральных удобрений. При внедрении в агроценоз варианта с максимальным поступлением биомассы в комплексе с оптимизированными дозами азотнофосфорных удобрений проявляется положительный результат на сбалансированности процессов минерализации почвенного органического вещества и аккумуляции азота.

Библиографический список / References

Гамзиков Г.П. Системный комплексный подход в агрохимических исследованиях биогенных элементов в агроценозах (на примере азота) // Агрохимия. 2014. № 8. С. 3–16. [Gamzikov G.P. Systemic integrated approach in agrochemical studies of biogenic elements in agrocenoses (for example, nitrogen). *Agrokhiimiya*. 2014. № 8. Pp. 3–16.]

Действие биологических способов оптимизации плодородия типичного чернозема на качество почвенного органического вещества / Лебедева Т.Н., Масютенко Н.П., Семенов В.М. и др. // *Агрохимия*. 2018. № 7. С. 12–21. [Lebedeva T.N., Masyutenko N.P., Semenov V.M., Kogut B.M., Zinyakova N.B., Akimenko A.S. Effect of biological methods for optimization the fertility of typical chernozem on the quality of soil organic matter. *Agrokhimiya*. 2018. № 7. Pp. 12–21.]

Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник Российской академии наук*. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29. [Zavarzin G.A., Kudеyarov V.N. Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2006. № 1 (76). Pp. 14–29.]

Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // *Агрохимия*. 1994. № 4. С. 95–97. [Iodko S.L., Sharkov I.N. New modification of the disulfophenol method for the determination of nitrates in the soil. *Agrokhimiya*. 1994. № 4. Pp. 95–97.]

Квиткина А.К., Ларионова А.А., Быховец С.С. Влияние экзогенного и эндогенного азота на скорость минерализации растительных остатков кукурузы // *Агрохимия*. 2014. № 9. С. 48–57. [Kvitkina A.K., Larionova A.A., Bykhovets S.S. The effect of exogenous and endogenous nitrogen on the rate of mineralization of plant residues of maize. *Agrokhimiya*. 2014. № 9. Pp. 48–57.]

Кудеяров В.Н. Роль почв в круговороте углерода // *Почвоведение*. 2005. № 8. С. 915–923. [Kudеyarov V.N. The role of soils in the carbon cycle. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2005. № 8. Pp. 915–923.]

Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1049–1060. [Kudеyarov V.N. Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2015. № 9. Pp. 1049–1060.]

Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // *Почвоведение*. 2018. № 6. С. 643–658. [Kudеyarov V.N. Soil respiration and biogenic carbon dioxide sink in the territory of Russia: An analytical review. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2018. № 6. Pp. 643–658.]

Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. Экосистемы России и глобальный бюджет углерода // *Наука в России*. 2012. № 5 (191). С. 25–32. [Kurganova I.N., Kudеyarov V.N. Ecosystems of Russia and the global carbon budget. *Nauka v Rossii*. 2012. № 5 (191). Pp. 25–32.]

Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель) / Отв. ред. П.А. Летунов. М., 1962. [Pochvenno-geograficheskoe rayonirovanie SSSR (v svyazi s selskokozyaystvennym ispolzovaniem zemel) [Soil-geographical regionalization of the USSR (in connection with the use of agricultural land)]. Letunov P.A. (ed.). Moscow, 1962.]

Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М., 2015. [Semenov V.M., Kogut B.M. Pochvennoye organicheskoye veshchestvo [Soil organic matter]. Moscow, 2015.]

Семенов В.М., Лебедева Т.Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // *Агрохимия*. 2015. № 11. С. 3–12. [Semenov V.M.,

Lebedeva T.N. The carbon problem in sustainable agriculture: agrochemical aspects. *Agrokhimiya*. 2015. № 11. Pp. 3–12.]

Шарков И.Н. Определение интенсивности продуцирования CO₂ почвой абсорбционным методом // Почвоведение. 1984. № 7. С. 136–143. [Sharkov I.N. Intensity determination of CO₂ soil production by the method of absorption. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 1984. № 7. Pp. 136–143.]

Шарков И.Н. Абсорбционный метод определения эмиссии CO₂ из почв // Методы исследований органического вещества почв. М., 2005. [Sharkov I.N. Absorbtsionnyy metod opredeleniya emissii SO₂ iz pochv [Absorption method for determining CO₂ emissions from soils]. *Metody issledovaniy organicheskogo veshchestva pochvy*. Moscow, 2005.]

Шепелев А.Г., Самохвалова Л.М. Взаимосвязи дыхания чернозема с составом органического вещества почвы в условиях центральной лесостепи Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 37. С. 6–16. [Shepelev A.G., Samokhvalova L.M. Relationship between chernozem respiration and soil organic matter composition in the central forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017. № 37. Pp. 6–16.]

Bremer E., Janzen H.H., McKenzie R.H. Short-term impact of fallow frequency and perennial grass on soil organic carbon in a Brown Chernozem in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*. 2002. Vol. 82. № 4. Pp. 481–488.

Hungate B.A., van Groenigen K.-J., Six J., Jastrow J.D., Luo Y., de Graaff M.-A., van Kessel C., Osenberg C.W. Assessing the effect of elevated carbon dioxide on soil carbon: A comparison of four meta-analyses. *Global Change Biology*. 2009. Vol. 15. Is. 8. Pp. 2020–2034.

IUSS Working Group WRB World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome, 2014.

Koch O., Tschерko D., Kandeler E. Temperature sensitivity of microbial respiration, nitrogen mineralization, and potential soil enzyme activities in organic alpine soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 2007. Vol. 21. Is. 4. Pp. 1–11.

Kutsch W.L., Aubinet M., Buchmann N., Smith P., Osborne B., Eugster W., Wattenbach M., Schrupf M., Schulze E.D., Tomelleri E., Ceschia E., Bernhofer C., Beziat P., Carrara A., Tommasi Di P., Grunwald T., Jones M., Magliulo V., Marloie O., Moureaux C., Olioso A., Sanz M.J., Saunders M., Sogaard H., Ziegler W. The net biome production of full crop rotations in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2010. Vol. 139. Is. 3. Pp. 336–345.

Liu Y., He N., Wen X., Yu G., Gao Y., Jia Y. Patterns and regulating mechanisms of soil nitrogen mineralization and temperature sensitivity in Chinese terrestrial ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2016. Vol. 215. Pp. 40–46.

Loubet B., Laville P., Lehuger S., Larmanou E., Flechard C., Mascher N., Genermont S., Roche R., Ferrara R.M., Stella P., Personne E., Durand B., Decuq C., Flura D., Masson S., Fanucci O., Rampon J.-N., Siemens J., Kindler R., Gabrielle B., Schrupf M., Cellier P. Carbon, nitrogen and Greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France. *Plant Soil*. 2011. Vol. 343. Pp. 109–137.

Manzoni S., Porporato A. Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41. Is. 7. Pp. 1355–1379.

Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2007.

Moors E.J., Jacobs C., Jans W., Supit I., Kutsch W.L., Bernhofer C., Beziat P., Buchmann N., Carrara A., Ceschia E., Elbers J., Eugster W., Kruijt B., Loubet B., Magliulo E., Moureaux C., Oliosio A., Saunders M., Soegaard H. Variability in carbon exchange of European croplands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2010. Vol. 139. Is. 3. Pp. 325–335.

Moran K.K., Six J., Horwath W.R., van Kessel C. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. *Soil Science Society of America Journal*. 2005. Vol. 69. Pp. 1730–1736.

Peters M., Herrero M., Fisher M., Erb K.H., Rao I., Subbarao G.V., Castro A., Arango J., Chara J., Murgueitio E., van der Hoek R., Laderach P., Hyman G., Tapasco J., Strassburg B., Paul B., Rincon A., Schultze-Kraft R., Fonte S., Searchinger T. Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*. 2013. Vol. 1. № 2. Pp. 156–167.

Schimel D.S., House J.I., Hibbard K.A., Bousquet P., Ciais P., Peylin P., Braswell B.H., Apps M.J., Baker D., Bondeau A., Canadell J., Churkina G., Cramer W., Denning A.S., Field C.B., Friedlingstein P., Goodale C., Heimann M., Houghton R.A., Melillo J.M., Moore III B., Murdiyasar D., Noble I., Pacala S.W., Prentice I.C., Raupach M.R., Rayner P.J., Scholes R.J., Steffen W.L., Wirth C. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*. 2001. Vol. 414. Pp. 169–172.

Schmidt M.W.I., Torn M.S., Aviven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning D.A.C., Nannipieri P., Rasse D.P., Weiner S., Trumbore S.E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*. 2011. Vol. 478. Pp. 49–56.

Smith W.N., Grant B.B., Desjardins R.L., Qian B., Hutchinson J., Gameda S. Potential impact of climate change on carbon in agricultural soils in Canada 2000–2099. *Climatic Change*. 2009. Vol. 93. Pp. 319–333.

Soegaard H., Jensen N.O., Boegh E., Hasager C.B., Schelde K., Thomsen A. Carbon dioxide exchange over agricultural landscape using eddy correlation and footprint modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2003. Vol. 114. Is. 3–4. Pp. 153–173.

Templer P.H., Groffman P.M., Flecker A.S., Power A.G. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. Vol. 37. Is. 2. Pp. 215–225.

Van den Bygaart A.J., McConkey B.G., Angers D.A., Smith W., de Gooijer H., Benthall M., Martin T. Soil carbon change factors for the Canadian agriculture national greenhouse gas inventory. *Canadian Journal of Soil Science*. 2008. Vol. 88. № 5. Pp. 671–680.

Wang Q., Wang D., Wen X.F., Yu G.R., He N.P., Wang R.F. Differences in SOM decomposition and temperature sensitivity among soil aggregate size classes in temperate grasslands. *PLoS ONE*. 2014. Vol. 10. Is. 2. e0117033.

Zak D.R., Pregitzer K.S., King J.S., Holmes W.E. Elevated atmospheric CO₂, fine roots and the response of soil microorganisms: A review and hypothesis. *New Phytologist*. 2000. Vol. 147. Is. 1. Pp. 201–222.

Статья поступила в редакцию 26.04.2019, принята к публикации 14.05.2019
The article was received on 26.04.2019, accepted for publication 14.05.2019

Сведения об авторе / About the author

Шепелев Андрей Геннадиевич – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории криогенных ландшафтов, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения РАН, г. Якутск

Shepelev Andrey G. – PhD in Biology; Senior Researcher at the Laboratory of Permafrost Landscapes, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk

ORCID: 0000-0002-8836-2123

E-mail: carbon-shag@yandex.ru

Тематика журнала

Журнал «Социально-экологические технологии» специализируется на всестороннем и объективном освещении вопросов экологии: проблемам взаимоотношений организма и среды, человека и природы.

Тематика журнала – экологические исследования в ботанике, зоологии, почвоведении, географии, также публикуются материалы, посвященные экологии человека (физиология, психогенетика, адаптивные способности организма человека).

Для публикации принимаются научные статьи, отражающие результаты оригинальных исследований, а также обзоры и рецензии, информация о программах и совещаниях, о деятельности учреждений, общественных организаций и отдельных специалистов в России и за ее пределами.

Редакционная политика

Редакции журнала не интересны материалы, основанные на компиляции давно известных фактов! Это не может считаться научной статьей!

Все присланные материалы проверяются при помощи программы «Антиплагиат». В разделах «Результаты», «Выводы» оригинальность должна превышать 80%. Специфика разделов «Введение», «Материалы и методы» позволяет снизить этот показатель до 60%.

Журнал строго следит за соблюдением следующих положений этики научных публикаций

Автор не должен публиковать рукопись, по большей части посвященную одному и тому же исследованию, более чем в одном журнале как оригинальную публикацию.

Представление одной и той же рукописи одновременно более чем в один журнал воспринимается как неэтичное поведение и неприемлемо.

Авторами публикации могут выступать только лица, которые внесли значительный вклад в формирование замысла работы, разработку, исполнение или интерпретацию представленного исследования. Все те, кто внес значительный вклад, должны быть обозначены как соавторы. В тех случаях, когда участники исследования внесли существенный вклад по определенному направлению в исследовательском проекте, они должны быть указаны как лица, внесшие значительный вклад в данное исследование (в сноске).

Нельзя представлять в качестве соавторов те, кто не участвовал в исследовании. Все соавторы должны одобрить окончательную версию работы и согласиться с представлением ее к публикации.

Рецензирование

Помогает членам редакционной коллегии принять решение о публикации и, при соответствующем взаимодействии с автором, также может помочь ему повысить качество работы. Таким образом, рецензирование – не просто инструмент отбора, но и средство, повышающее научный уровень статьи.

Кроме того, рецензент выявляет значимые опубликованные работы, соответствующие теме и не включенные в библиографию к рукописи. На любое утверждение (наблюдение, вывод или аргумент), опубликованное ранее, в рукописи должна быть соответствующая библиографическая ссылка. Рецензент также обращает внимание редакционной коллегии на обнаружение существенного сходства или совпадения между рассматриваемой рукописью и любой другой опубликованной работой, находящейся в сфере его научной компетенции.

Авторы доклада об оригинальном исследовании должны предоставлять достоверные результаты проделанной работы, как и объективное обсуждение значимости исследования. Данные, лежащие в основе работы, должны быть представлены безошибочно. Работа должна содержать достаточно деталей и библиографических ссылок для возможного воспроизведения. Ложные или заведомо ошибочные утверждения воспринимаются как неэтичное поведение и неприемлемы.

Обзоры также должны быть объективными, точка зрения автора должна быть четко обозначена.

Плата за публикацию

Редакция не взимает с авторов плату за подготовку, размещение и печать материалов.

Язык публикаций

Журнал принимает к рассмотрению и публикует материалы на русском и английском языках.

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

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2019. Т. 9. № 2

Сайт журнала:
www.soc-ecol.ru

Подписано в печать 29.06.2019 г.
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Times New Roman».
Объем 8,8 п. л. Тираж 1000 экз.