

ISSN 2077-3366

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
RUSSIAN FEDERATION**

**FEDERAL STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
«DONETSK STATE UNIVERSITY»**

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ
ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА**

Научно-практический журнал

№ 3

Основан в 1999 г.

**PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION
OF TECHNOGENIC REGION**

Scientific and practical journal

No 3

Founded in 1999

2025

В журнале «Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона» публикуются статьи преподавателей, научных сотрудников и аспирантов вузов и научно-исследовательских организаций, которые охватывают широкий круг вопросов экологической, а также флористической, фаунистической, биофизической и физиологической направленности, которые касаются проблем экологии и охраны природы.

Предназначен для специалистов в области экологии, ботаники, зоологии, физиологии растений, человека и животных, биофизики, охраны природы, а также для преподавателей и студентов биологических, экологических факультетов и кафедр высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Беспалова С. В. , проф., д-р физ.-мат. наук (главный редактор)	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Горецкий О. С. , проф., д-р биол. наук (зам. главного редактора)	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Акатов В. В. , проф., д-р биол. наук	ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»
Алемасова А. С. , проф., д-р хим. наук	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Вардуни Т. В. , доц., д-р пед. наук	ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ботанический сад ЮФУ, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Глухов А. З. , проф., д-р биол. наук	ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»
Горбов С. Н. , доц., д-р биол. наук	ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Демченко С. И. , доц., канд. биол. наук	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Денисова Т. В. , доц., д-р биол. наук	ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Казеев К. Ш. , проф., д-р геогр. наук	ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Калаев В. Н. , проф., д-р биол. наук	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
Клименко О. Е. , с.н.с., д-р биол. наук	ФГБНУ «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»
Колесников С. И. , проф., д-р с.-х. наук	ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Остапко В. М. , проф., д-р биол. наук	ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»
Прокопенко Е. В. , доц., канд. биол. наук	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Сафонов А. И. , доц., канд. биол. наук	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Сергеев М. Е. , канд. биол. наук	ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
Соболев В. И. , проф., д-р биол. наук	ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Гуманитарно-педагогическая академия
Труш В. В. , доц., д-р биол. наук	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Чемерис О. В. , канд. биол. наук (отв. секретарь)	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Пирко И. Ф. , канд. биол. наук (отв. секретарь)	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК РФ с 09.04.2024 г.) по следующим научным специальностям:

1.5.9. Ботаника (биологические науки); 1.5.15. Экология (биологические науки).

Журнал включен в Перечень РИНЦ (лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г.).

Адрес издателя:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации 125009, г. Москва, вн. тер. г. Муниципальный Округ Тверской, ул. Тверская, д. 11, стр. 1;
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет» 283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.

Адрес редакции:

283050, Донецкая Народная Республика, г.о. Донецк, г. Донецк, ул. Щорса, 46.

Сайт журнала: <https://dongu-ecolog.ru/>

E-mail: dongu_eco@mail.ru

Печатается по решению Ученого совета ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
протокол № 12 от 31.10.2025 г.

© ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», 2025

Papers of academic staff, scientific employees and post-graduate students of high schools and research organizations cover a wide range of questions of ecological, floristic, faunistic, biophysical and physiological orientation and touches problems of ecology and nature protection.

It is intended for ecologists, botanists, zoologists, plants physiologists, man and animals physiologists, biophysics, experts in nature protection and for teachers and students of biological and ecological faculties of higher educational institutions.

Editorial Board

Bespalova S. V. (Editor-in-Chief)

Goretsky O. S. (Associate Editor)

Akatov V. V.

Alemasova A. S.

Varduni T. V.

Glukhov A. Z.

Gorbov S. N.

Demchenko S. I.

Denisova T. V.

Kazeev K. Sh.

Kalaev V. N.

Klimenko O. E.

Kolesnikov S. I.

Ostapko V. M.

Prokopenko E. V.

Safonov A. I.

Sergeev M. E.

Sobolev V. I.

Trush V. V.

Chemerys O.V. (Managing editor)

Pirko I. F. (Managing editor)

Donetsk State University

Donetsk State University

Maikop State Technological University

Donetsk State University

Academy of Biology and Biotechnology

Botanical Garden of Southern Federal University

Donetsk Botanical Garden

Academy of Biology and Biotechnology

Southern Federal University

Donetsk State University

Academy of Biology and Biotechnology

Southern Federal University

Academy of Biology and Biotechnology

Southern Federal University

Voronezh State University

Nikitsky Botanical Garden

Academy of Biology and Biotechnology

Southern Federal University

Donetsk Botanical Garden

Donetsk State University

Donetsk State University

Federal Scientific Center of the East Asia

Terrestrial Biodiversity

Humanities and Education Science Academy

Crimean Federal University

Donetsk State University

Donetsk State University

Donetsk State University

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the scientific degree of Candidate of Sciences, for the scientific degree of Doctor of Sciences should be published (List of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation from April 9, 2024) in the following scientific specialties:

1.5.9. Botany (biological sciences); 1.5.15. Ecology (biological sciences).

Journal is included in the List of Russian scientific citation index (license agreement No 378-06/2016 dated 24.06.2016).

Publisher's address:

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Tverskoy Municipal District, Tverskaya St., 11, building 1, Moscow, 125009;

Donetsk State University, 24 Universitetskaya str., Donetsk, 283001

Address of editorial board:

Faculty of Biology, Donetsk State University, Schorsa str., 46, Donetsk, DPR, 283050.

Web-site of journal: <https://dongu-ecolog.ru/>

E-mail: dongu_eco@mail.ru

*Printed by decision of Donetsk State University Scientific Council
protocol No 12 dated 31.10.2025*

СОДЕРЖАНИЕ

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Гридько О. А., Хархота Л. В., Лихацкая Е. Н. Результаты интродукции и перспективы использования редких древесных растений в экспозиции Донецкого ботанического сада	6
Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С. Функциональные возможности видов урбанодендрофлоры в условиях породных отвалов угольных шахт Донбасса	17
Дьякова Н. А. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвах некоторых агроценозов Воронежской области	25
Кишкань Р. В. О находках образцов отпечатков коры и облиственных ветвей <i>Bothrodendron punctatum</i> Lindley et Hutton, 1833 в отложениях Донецкого бассейна	33
Носова М. В., Середина В. П., Стовбунник С. А. Экономическая эффективность рекультивации техногенно засоленных почв в условиях среднетаежной подзоны Западной Сибири (ХМАО).....	58

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

Амолин А. В. Роющие осы семейства Sphecidae (Hymenoptera: Spheciformes) Северного Приазовья и Донецкой возвышенности	67
Ольшевская А. В., Шевченко В. Н., Мальцева Т. А., Саркисян Д. С., Чолутаева Э. Э. Изучение особенностей роста разнополых особей австралийского красноклещевого рака <i>Cherax quadricarinatus</i> (von Martens, 1868) при введении в рацион бактериоцина	77
Сердюк В. Ю., Замотайлов А. С., Гожко А. А. Эколого-фаунистический обзор жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в насаждениях шелковицы Славянского района Краснодарского края.....	86

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

Чемерис О. В. Масштабирование процесса глубинного культивирования гриба <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. – продуцента целлюлозолитических ферментов	97
--	-----------

CONTENTS

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

Hrydko O. A., Kharkhota L. V., Likhatskaya E. N. Results of introduction and prospects for using rare woody plants in the exposition display garden of Donetsk Botanical Garden	6
Dostovalova D. A., Glukhov A. Z., Podgorodetsky N. S. Functional capabilities of urbanodendroflora species in rock dumps of Donbass coal mines	17
Dyakova N. A. Content of heavy metals and arsenic in soils of some agrocenoses of Voronezh region	25
Kishkan R. V. On the finding of print samples and leafy branches of <i>Bothrodendron punctatum</i> Lindley et Hutton, 1833 in the deposits of the Donetsk basin	33
Nosova M. V., Seredina V. P., Stovbunik S. A. Economic efficiency of reclamation of technogenically saline soils in the conditions of the middle taiga subzone of Western Siberia (Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug)	58

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

Amolin A. V. Digger wasps of the family Sphecidae (Hymenoptera: Spheciformes) in the Northern Cis-Azov region and Donetsk Upland	67
Olshevskaya A. V., Shevchenko V. N., Maltseva T. A., Sarkisyan D. S., Cholutaeva E. E. Study of growth characteristics of male and female Australian red-claw crayfish <i>Cherax quadricarinatus</i> (von Martens, 1868) when introducing bacteriocin into their diet	77
Serdyuk V. Yu., Zamotajlov A. S., Gozhko A. A. Ecological and faunistic survey of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in mulberry plantations in the Slavyansky District of Krasnodar Territory	86

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

Chemeris O. V. Scaling up the process of deep cultivation of the fungus <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr., a producer of cellulolytic enzymes	97
---	-----------

© О. А. Гридько, Л. В. Хархота, Е. Н. Лихацкая

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТРОДУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РЕДКИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЭКСПОЗИЦИИ
ДОНЕЦКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА***ФГБНУ Донецкий ботанический сад
Россия, 283023, ДНР, г. Донецк, пр. Ильича, 110*

Гридько О. А., Хархота Л. В., Лихацкая Е. Н. Результаты интродукции и перспективы использования редких древесных растений в экспозиции Донецкого ботанического сада. – В статье приведены результаты интродукционных испытаний эндемичных, реликтовых, исчезающих древесных растений, представленных в экспозиции «Редкие древесные растения» Донецкого ботанического сада. В составе экспозиции 40 таксонов, относящиеся к 24 семействам. Экспозиция, включающая малораспространенные и растения с разным соэкологическим статусом, вызывает интерес у посетителей сада, является ключевым объектом в экскурсионном маршруте, базой для изучения редко встречающихся древесных пород.

Ключевые слова: ботанический сад, экспозиция, редкие виды, интродукция, адаптация, модули экспозиций.

Введение

Ботанические сады являются неотъемлемой частью глобальной системы сохранения биоразнообразия [11]. Создание и поддержание ботанических коллекций – один из эффективных, а часто и единственно возможных методов сохранения генофонда растений в условиях *ex situ* – необходимо как для научно-исследовательских целей, так и как база для природоохранной, образовательной и эколого-просветительской деятельности по сохранению культурно-исторического наследия [6, 11].

В последние годы актуальность приобретают вопросы прикладного использования интродуцированных растений. Коллекции ботанических учреждений с успехом могут содействовать решению задач по обновлению зеленого фонда населенных пунктов.

Коллекция древесных растений Донецкого ботанического сада (ДБС) начала формироваться в 1960-е годы с первых посадок деревьев и кустарников в экспозициях Сада. В течение ряда лет учеными ДБС проводятся исследования по выявлению адаптационных возможностей и жизнеспособности древесных растений в техногенной среде, изучению биоэкологических особенностей и оценке перспективности их использования в зеленом строительстве промышленных городов [2, 9]. Однако в культуре большая часть из них являются малоизвестными и, как следствие, редко выращиваемыми растениями. Для расширения научных знаний в области дендрологии и методов многоцелевого использования древесных растений особое внимание заслуживает введение в зеленый фонд редких, эндемичных и исчезающих видов древесных растений.

Цель работы – обобщение результатов интродукции редких древесных растений в экспозиции Донецкого ботанического сада для использования в озеленении населенных пунктов юга степной зоны. В задачи исследований входило уточнение видового состава и соэкологического статуса, оценка успешности интродукции, декоративности древесно-кустарниковых растений.

Материал и методы исследования

Объекты исследования – древесные растения, произрастающие в экспозиции «Редкие древесные растения» Донецкого ботанического сада. Экспозиция представляет собой искусственно созданное растительное сообщество из реликтовых и малораспространенных в зеленых насаждениях региона видов древесных растений и является базой для исследовательских работ по интродукции редких и исчезающих видов.

Экспозиция была заложена в 1980-е годы на участке площадью 0,2 га, затененном и защищенном деревьями окружающего ландшафта, с поливочным водопроводом, что обеспечило приживаемость растений в первые годы после посадки.

Систематическое положение и номенклатура таксонов приведены в соответствии с современной номенклатурной базой Catalogue of Life [12]. Созологический статус приведен по Красной книге Российской Федерации (ККРФ) и Красному списку Международного Союза охраны природы (МСОП) [5, 13]. Флористическое районирование проводили по системе А. Л. Тахтаджяна [10], экобиоморфы выделены по отношению растений к водному режиму и свету [1, 7]. Оценку успешности интродукции проводили по методике Н. А. Кохно [4] по значению акклиматизационного числа (А), которое рассчитывается по формуле:

$$A = P \times v + \Gamma \times v + 3M \times v + 3c \times v,$$

где Р – показатель роста;

Г – показатель генеративного развития;

Зм – показатель зимостойкости;

Зс – показатель засухоустойчивости;

v – коэффициент весомости признака.

Учитывая климатические особенности региона, были приняты следующие коэффициенты: зимостойкости – 7, засухоустойчивости – 7, показателя генеративного развития – 4, показателя роста – 2. Для декоративных форм, сортов коэффициент весомости показателя генеративного развития был принят равным 0, а роста – 6. На основе анализа показателей жизнеспособности древесных растений устанавливали их перспективность: полная – $A = 100 - 80$; средняя – $A = 79 - 60$; удовлетворительная – $A = 59 - 40$; слабая – $A = 39 - 20$; очень слабая – менее 20 баллов. Оценку декоративности проводили по шкале Н. В. Котеловой, Н. С. Гречко [3]: Д1 – растения, декоративные по отдельным признакам; Д2 – декоративны в определенные периоды сезона; Д3 – декоративны в течение вегетационного периода; Д4 – декоративны в течение всего года.

Результаты и обсуждение

Экспозиция «Редкие древесные растения» расположена в юго-восточной части Северного массива Сада. С восточной и южной сторон ограничена линейной однорядной посадкой деревьев *Corylus colurna* L., которая обеспечивает защиту участка от внешних факторов и создает эстетически привлекательное пространство; с северной и западной сторон – примыкает к ландшафтным композициям «Морское дно» и «Японский сад».

Планировочное решение экспозиции «Редкие древесные растения» выполнено в пейзажном стиле и соответствует как рекреационным нагрузкам, так и научным потребностям. Проложенная экскурсионная тропа замкнутой формы обеспечивает посетителям доступный обзор растений. При создании растительных композиций использован прием формирования художественных микроландшафтов, построенных по правилам садово-паркового искусства. В центре композиционной группы размещены наиболее ценные лиственные и хвойные экзотические виды древесных растений (*Aesculus parviflora* Walter, *Castanea sativa* Mill., *Liriodendron tulipifera* L., *Magnolia kobus* DC., *Abies alba* Mill., *Metasequoia glyptostroboides* Hu et W.C. Cheng), которые служат акцентами и визуальной доминантой, что подчеркивает оригинальность экспозиции. Свободные посадки

из декоративных кустарников (*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl, *Hydrangea arborescens* L., *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt., *Paeonia* × *suffruticosa* Andrews) создают пышное окаймление вдоль дорожек и выполняют функцию разграничения пространства (рис. 1).



Рис. 1. Фрагменты экспозиции «Редкие древесные растения» Донецкого ботанического сада

В составе экспозиции 36 видов, 1 подвид, 1 форма, 1 разновидность, 1 сорт, относящиеся к 24 семействам (табл. 1). Семейства Fagaceae и Rosaceae представлены 4 таксонами каждое; Cupressaceae, Oleaceae и Sapindaceae – 3 таксонами; Betulaceae и Magnoliaceae – 2; остальные семейства – одним таксоном.

Согласно флористическому районированию А. Л. Тахтаджяна в экспозиции доминируют виды, происходящие из Восточноазиатской флористической области (13 видов, или 36 % от общего количества), по 6 видов (17 %) происходят из Циркумбореальной и Атлантическо-Североамериканской областей, ареал 7 видов (19 %) охватывает 2 и более областей; Ирано-Туранская, Мадреанская, Средиземноморская области и область Скалистых гор представлены 1 видом каждая.

Таблица 1

Таксономический состав, характеристика и оценка перспективности древесных растений экспозиции «Редкие древесные растения» в Донецком ботаническом саду

Название таксона	Статус редкости*	Экологическая группа**	Акклиматизационное число	Группа перспективности	Группа декоративности
1	2	3	4	5	6
Cupressaceae					
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A. Murray bis) Parl.	NT	Ms, He	69	средняя	Д4
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et W.C. Cheng	EN	Ms, ScHe	94	полная	Д4
<i>Microbiota decussata</i> Kom.	И	KsMs, He	72	средняя	Д4
Pinaceae					
<i>Abies alba</i> Mill.	LC	Ms, Sc	68	средняя	Д4
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold et Zucc.	LC	Ms, He	68	средняя	Д4
<i>P. nigra</i> J.F. Arnold subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe	И	KsMs, ScHe	94	полная	Д4
Ginkgoaceae					
<i>Ginkgo biloba</i> L.	EN	HgrMs, He	94	полная	Д3
Taxaceae					
<i>Taxus baccata</i> L.	У	Ms, Sc	94	полная	Д4
Anacardiaceae					
<i>Rhus typhina</i> L.	LC	Ms, ScHe	82	полная	Д3
Araliaceae					
<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i> (Rupr. & Maxim.) S. Y. Hu	-	Ms, He	74	средняя	Д1
Berberidaceae					
<i>Mahonia aquifolium</i> (Pursh) Nutt.	-	KsMs, HeSc	100	полная	Д4
Betulaceae					
<i>Corylus avellana</i> L.	LC	Ms, HeSc	100	полная	Д2
<i>C. colurna</i> L.	LC, И	Ms, HeSc	98	полная	Д3
Buxaceae					
<i>Buxus sempervirens</i> L.	LC	KsMs, HeSc	79	средняя	Д4
Calycanthaceae					
<i>Calycanthus floridus</i> L.	-	Ms, He	72	средняя	Д2
Caprifoliaceae					
<i>Lonicera tatarica</i> L.	-	KsMs, ScHe	100	полная	Д2
Celastraceae					
<i>Euonymus nanus</i> M. Bieb.	КР	KsMs, HeSc	92	полная	Д4
Cornaceae					
<i>Cornus mas</i> L.	LC	Ms, ScHe	100	полная	Д2
Elaeagnaceae					
<i>Elaeagnus multiflora</i> Thunb.	-	KsMs, He	85	полная	Д3

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Ericaceae					
<i>Rhododendron dauricum</i> L.	-	Ms, ScHe	68	средняя	Д2
Fagaceae					
<i>Castanea sativa</i> Mill.	LC	Ms, He	75	средняя	Д3
<i>Fagus orientalis</i> Lipsky	LC	Ms, Sc	79	средняя	Д3
<i>F. sylvatica</i> L.	LC	Ms, Sc	79	средняя	Д3
<i>Quercus robur</i> L. var. <i>laciniata</i>	-	KsMs, He	100	полная	Д3
Hydrangeaceae					
<i>Hydrangea arborescens</i> L.	-	KsMs, HeSc	72	средняя	Д2
Juglandaceae					
<i>Pterocarya stenoptera</i> C. DC.	LC	Ms, He	87	полная	Д3
Magnoliaceae					
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	LC	Ms, He	71	средняя	Д3
<i>Magnolia kobus</i> DC.	DD	Ms, ScHe	94	полная	Д3
Oleaceae					
<i>Chionanthus virginicus</i> L.	-	KsMs, ScHe	78	средняя	Д1
<i>Forsythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl	-	Ms, ScHe	72	средняя	Д2
<i>Chrysojasminum fruticans</i> (L.) Banfi	-	Ms, He	93	полная	Д2
Paeoniaceae					
<i>Paeonia</i> × <i>suffruticosa</i> Andrews	-	Ms, ScHe	98	полная	Д2
Rhamnaceae					
<i>Paliurus spina-christi</i> Mill.	-	MsKs, ScHe	80	средняя	Д3
Rosaceae					
<i>Kerria japonica</i> (L.) DC.	-	Ms, ScHe	67	средняя	Д4
<i>Neillia incisa</i> (Thunb.) S. H. Oh	-	KsMs, ScHe	74	средняя	Д2
<i>Prinsepia sinensis</i> (Oliv.) Oliv. ex Bean	И	Ms, ScHe	93	полная	Д2
<i>Spiraea japonica</i> f. <i>alpina</i> (Maxim.) Koidz.	-	KsMs, ScHe	100	полная	Д3
Sapindaceae					
<i>Acer platanoides</i> L. 'Crimson King'	-	-	100	полная	Д3
<i>A. saccharinum</i> L.	LC	Ms, ScHe	100	полная	Д3
<i>Aesculus parviflora</i> Walter	LC	Ms, He	96	полная	Д3

Примечания

1 «*» – в Красной книге Российской Федерации (ККРФ): И – исчезающий, КР – находящийся под критической угрозой исчезновения, У – уязвимый; по Красному списку Международного Союза охраны природы (МСОП): EN – исчезающий, NT – находящийся в состоянии, близком к угрожаемому, LC – вызывающий наименьшее опасение, DD – недостаточно данных,

2 «**» – Ks – ксерофит, KsMs – ксеромезофит, Ms – мезофит, MsKs – мезоксерофит, HgrMs – гигромезофит, He – гелиофит, HeSc – гелиосциофит, Sc – сциофит, ScHe – сциогелиофит.

В экспозиции преобладают мезофиты (62 %) и ксеромезофиты (31 %); сциогелиофиты (41 %) и гелиофиты (33 %).

Ассортимент экспозиции является уникальным по представленности реликтовых и эндемичных видов: *Metasequoia glyptostroboides* – реликт позднемелового периода; *Ginkgo biloba* L. – реликтовый вид восточноазиатского происхождения; *Microbiota decussata* Kom. – реликтовый эндемик Сихотэ-Алиня, единственный в России эндемик голосеменных; *Taxus baccata* L. и *Euonymus nanus* M. Bieb. – редкие реликтовые виды с дизъюнктивными ареалами; *Corylus colurna* – единственная древовидная лещина на территории бывшего СССР. В Красную Книгу РФ входят 5 видов и 1 подвид, 18 видов включены в Красный список МСОП. В составе экспозиции произрастает вид природной флоры Донбасса – *Corylus avellana* L. [8].

Перспективными, хорошо адаптировавшимися к условиям региона интродуцентами являются 55 % редких и малораспространенных растений экспозиции (А = 80 – 100 баллов). Некоторые из них характеризуются менее интенсивным, чем в природном ареале, но хорошим ростом: *Acer saccharinum* L., *Corylus colurna*, *Euonymus nanus*, *Ginkgo biloba*, *Magnolia kobus*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Pterocarya stenoptera* C. DC., *Taxus baccata*.

Проходят полный цикл развития, но формируют неполноценные или недостаточное количество всхожих семян *Aesculus parviflora*, *Euonymus nanus*, *Elaeagnus multiflora* Thunb., *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Taxus baccata*.

В отдельные годы частично обмерзают годовичные побеги у *Chrysojasminum fruticans* (L.) Banfi, *Elaeagnus multiflora*, *Euonymus nanus*, *Prinsepia sinensis* (Oliv.) Oliv. ex Bean, *Pterocarya stenoptera*, *Rhus typhina* L. В засуху теряют тургор листья у *Rhus typhina*.

Интродуценты со средней адаптивной способностью (А = 60 – 79 баллов) характеризуются, в основном, невысокой засухоустойчивостью. Так, при длительной засухе и высокой температуре у *Abies alba* хвоя в нижней части кроны принимает осеннюю окраску и опадает, частично сбрасывают листья *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray bis) Parl., *Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. & Maxim.) S. Y. Hu, *Microbiota decussata*, *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., *Rhododendron dauricum* L. У *Calycanthus floridus* L., *Chionanthus virginicus* L., *Forsythia suspensa*, *Hydrangea arborescens*, *Kerria japonica* (L.) DC. в засуху листья теряют тургор, быстро восстанавливающийся после полива или выпадения осадков.

Наиболее низким баллом оценена зимостойкость *Kerria japonica*, *Neillia incisa* (Thunb.) S. H. Oh и *Paliurus spina-christi* Mill., у которых в отдельные зимы обмерзает до 70 % однолетних побегов. Частичное обмерзание однолетнего прироста отмечается у *Buxus sempervirens* L., *Calycanthus floridus*, *Castanea sativa*, *Chionanthus virginicus*, *Forsythia suspensa*. В результате обмерзания молодых растений до уровня корневой шейки изменили форму роста *Castanea sativa* и *Pterocarya stenoptera*, сформировавшись в виде многоствольных деревьев.

Цветут, но не плодоносят *Buxus sempervirens*, *Calycanthus floridus*, *Castanea sativa* (единичные плоды в отдельные годы), *Fagus orientalis* Lipsky, *F. sylvatica* L., *Forsythia suspensa*, *Kerria japonica*, *Microbiota decussata*; невсхожие семена образуются у *Chamaecyparis lawsoniana*, *Eleutherococcus sessiliflorus*, *Neillia incisa*.

Слабым или относительно умеренным ростом характеризуются *Chionanthus virginicus*, *Eleutherococcus sessiliflorus*, *Liriodendron tulipifera*, *Neillia incisa*, *Pinus koraiensis*, *Rhododendron dauricum*.

Данная группа растений объединяет виды, для роста и развития которых необходимо создавать определенные условия – посадка в затененные места, полив, укрытие молодых растений в зимний период.

По результатам балльной оценки декоративных качеств древесных растений доминируют группы с 3 (Д3) и 4 (Д4) баллами (рис. 2), в которые включены вечнозеленые, декоративно-лиственные и красивоцветущие растения. Эффектные, у некоторых видов съедобные, плоды формируются у *Cornus mas* L., *Corylus avellana*, *C. colurna*, *Elaeagnus*

multiflora, *Eleutherococcus sessiliflorus*, *Lonicera tatarica* L., *Magnolia kobus*, *Mahonia aquifolium*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Prinsepia sinensis*, *Rhus typhina*, *Taxus baccata*.

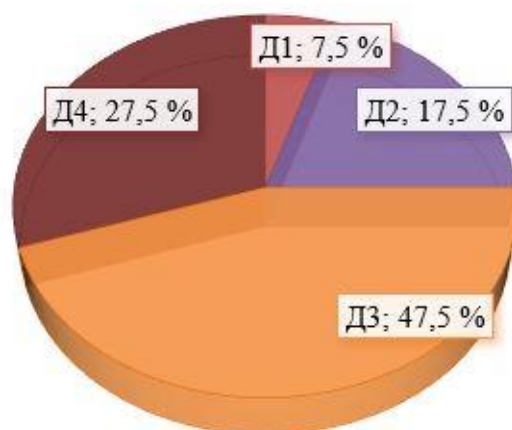


Рис. 2. Оценка декоративности древесных растений в экспозиции «Редкие древесные растения» Донецкого ботанического сада:

Д4 – растения декоративны в течение всего года; Д3 – декоративны в течение вегетационного периода; Д2 – декоративны в определенные периоды сезона; Д1 – декоративны по отдельным признакам

Сезонные изменения и эстетические свойства насаждений зависят от сроков наступления и длительности вегетационного периода растений. Наличие в экспозиции «Редкие древесные растения» видов с разными сроками начала цветения и периодами декоративности обеспечивает продолжительный эстетический эффект и делает участок привлекательным в течение всего года.

С целью расширения биоразнообразия городского ландшафта и введения в зеленый фонд редких, эндемичных и исчезающих видов древесных растений рекомендованы следующие варианты модулей композиционных ландшафтных групп:

– *Corylus colurna* + *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* + *Prinsepia sinensis*. В основу композиции, представленной краснокнижными растениями, положен экологический принцип – виды легко адаптируются к условиям города, нетребовательны к почвам, устойчивы к засушливым условиям. Композиционным центром группы является *Corylus colurna*: за счет раскидистой формы кроны выступает фоновым элементом композиции; *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* создает выразительный акцент и поддерживает декоративность композиции в течение всего года. Функцию обрамляющего растения выполняет *Prinsepia sinensis*, дополняя композицию весенним цветением и декоративностью плодов в летний период (рис. 3 А);

– *Liriodendron tulipifera* + *Aesculus parviflora* + *Paeonia* × *suffruticosa*. В основу композиции положен экологический принцип (растения предпочитают солнечные участки и хорошо дренированную почву). В роли доминанты, значительно превосходящей по высоте, выступает *Liriodendron tulipifera*. Акцентом композиции является *Aesculus parviflora* за счет ажурной кроны и крупных соцветий. Использование *Paeonia* × *suffruticosa* на переднем плане композиционной группы позволяет повысить эстетический эффект участка. Композиция обладает сезонной декоративностью: в весенне-летний период привлекает внимание последовательное цветение растений в составе группы, осенью изменение окраски листовых пластинок *Aesculus parviflora* от оранжевого до красноватого оттенков добавляет декоративность растительной группе (рис. 3. Б);

– *Elaeagnus multiflora* + *Hydrangea arborescens*. В основу композиции положен экологический (виды проявляют устойчивость к городской среде) и физиономический принципы. Центральным объектом композиции является *Elaeagnus multiflora*, привлекающий внимание в весенний период не только обильным цветением, но и приятным ароматом

цветков. В летне-осенний период основную зрительную нагрузку несет рядовая посадка из *Hydrangea arborescens* на переднем плане. Период цветения данных культур не совпадает, что продлевает визуальную привлекательность группы;

– *Ginkgo biloba* + *Paeonia* × *suffruticosa*. В основу композиции положен эколого-географический принцип (виды проявляют устойчивость к городским условиям среды, засухоустойчивы и относятся к одной флористической области). Фоном композиции выступает *Ginkgo biloba*, а ведущую позицию на переднем плане занимает *Paeonia* × *suffruticosa*. Каждый из компонентов композиции интересен в разное время года: в весенний период *Paeonia* × *suffruticosa* привлекает внимание богатым цветением, а осенью листья *Ginkgo biloba* окрашиваются в золотистый цвет, что меняет восприятие композиции. Подобная композиция идеальна для японских садов, а также участков, выполненных в восточном стиле.



А



Б

Рис. 3. Варианты модулей композиционных ландшафтных групп:

А – *Corylus colurna* L. + *Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe + *Prinsepia sinensis* (Oliv.) Oliv. ex Bean, Б – *Liriodendron tulipifera* L. + *Aesculus parviflora* Walter + *Paeonia* × *suffruticosa* Andrews.

Характеристика биоморфологических и декоративных признаков отмеченных растений представлена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика биоморфологических и декоративных признаков древесных растений предложенных вариантов модулей композиций

Название таксона	Био-морфа	Высота растения*, м	Окраска листьев/хвои	Период цветения	Окраска цветка/соцветия
1	2	3	4	5	6
средней группы перспективности					
<i>Hydrangea arborescens</i> L.	КЛ	1,0–1,2	ярко-зеленая	июль-октябрь	белая
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	ДЛ	11,0–12,0	светло-зеленая	июнь	зелено-желтая

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
полной группы перспективности					
<i>Aesculus parviflora</i> Walter	КЛ	2,5–3,0	светло-зеленая	июнь-июль	белая
<i>Corylus colurna</i> L.	ДЛ	14,0–15,0	темно-зеленая	март	мужские-бледно-желтая, женские-красная
<i>Elaeagnus multiflora</i> Thunb.	КЛ	2,5–3,0	зеленая	май	желтая
<i>Ginkgo biloba</i> L.	ДЛ	13,0–14,0	светло-зеленая	–	–
<i>Paeonia</i> × <i>suffruticosa</i> Andrews	КЛ	1,5–2,0	тускло-зеленая	май	белая, розовая, красная
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe	ДХВ	9,0–10,0	темно-зеленая	–	–
<i>Prinsepia sinensis</i> (Oliv.) Oliv. ex Bean	КЛ	2,0–2,5	зеленая	апрель-май	кремовая

Примечание – ДХВ – дерево хвойное вечнозеленое, ДЛ – дерево лиственное, КЛ – кустарник лиственный. «*» – высота растения в экспозиции по состоянию на 2025 г.

Вышеуказанные виды можно также рекомендовать при оформлении территорий рекреационного назначения в качестве солитеров (*Corylus colurna*, *Liriodendron tulipifera*), аллейных или рядовых посадок (*Corylus colurna*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Liriodendron tulipifera*), рощи (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*), живой изгороди (*Aesculus parviflora*, *Prinsepia sinensis*, *Elaeagnus multiflora*).

Представленный ассортимент может быть рассмотрен в качестве научно-обоснованного примера для создания модульной ландшафтной композиции, позволяющей интегрировать редкие, эндемичные и малораспространенные виды древесных растений при озеленении городских территорий общественного назначения и ограниченного пользования. Внедрение готового модульного композиционного решения в озеленение городской среды является эффективным инструментом просвещения общественности относительно проблем сохранения генофонда редких и исчезающих видов растений, что подчеркивает необходимость принятия мер по охране фиторесурсов.

Выводы

Экспозиция «Редкие древесные растения» Донецкого ботанического сада включает 36 видов, 3 внутривидовых таксона и 1 сорт, относящиеся к 24 семействам. Доля исчезающих и находящихся под критической угрозой исчезновения древесных растений, занесенных в Красную Книгу РФ, составляет 15 % от общего количества таксонов, что подчеркивает уникальность состава экспозиции и важность научных исследований в разработке природоохранных мероприятий исчезающих видов.

По результатам многолетнего интродукционного изучения редких древесных растений Донецкого ботанического сада к перспективной группе с полной степенью адаптации относятся 22 таксона экспозиции, к группе со средней степенью – 18 таксонов.

Экспозиция «Редкие древесные растения» служит не только базой для научно-исследовательской работы, позволяющей установить адаптационные возможности интродуцентов, характер отдельных фаз онтогенетического развития, закономерности сезонной ритмики роста и развития растений в условиях степной зоны юга России, но и способствует образовательной и эколого-просветительской деятельности среди населения

относительно сохранения редких и исчезающих видов растений, эндемичных и реликтовых представителей флоры, составляющих культурно-историческое наследие региона.

Представленный ассортимент модульных ландшафтных групп рекомендован для внедрения в озеленение специализированных городских территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ ДБС по теме № 123101300192-1.

Список литературы

1. Бельгард А. Л. Степное лесоведение. М.: Лесн. пром.-сть, 1971. 336 с.
2. Глухов О. З., Довбиш Н. Ф. Прискорене розмноження малопоширених деревних листяних рослин на південному сході України. Донецьк: ТОВ «Лебідь», 2003. 162 с.
3. Котелова Н. В., Гречко Н. С. Оценка декоративности // Цветоводство. 1969. № 10. С. 11–12.
4. Кохно Н. А. К методике оценки успешности интродукции листопадных древесных растений // Теории и методы интродукции растений и зеленого строительства. К.: Наукова думка, 1980. С. 52–54.
5. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.]; отв. ред.: док. биол. наук Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. М.: ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.
6. Кузеванов В. Я., Сизых С. В. Экологические ресурсы ботанических садов: связь биоразнообразия и общества // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2010. № 3(106). С. 161–170.
7. Культиасов И. М. Экология растений. Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1982. 384 с.
8. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк: Ноулидж, 2010. 247 с.
9. Поляков А. К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк: Ноулидж, 2009. 268 с.
10. Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 248 с.
11. Gorbunov Yu. N., Kuzevanov V. The Role of Russian Botanical Gardens in Plant Biodiversity Conservation // Botanical Gardens and Their Role in Plant Conservation. European and American Botanical Gardens. Boca Raton: CRC Press, 2023. P. 63–89.
12. Catalogue of Life: COL Version: 2025-03-14 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.catalogueoflife.org> (дата обращения: 03.04.2025).
13. The IUCN Red List of Threatened Species 2025-1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iucnredlist.org> (дата обращения: 03.04.2025).

Поступила в редакцию 23.05.2025 г.

Hrydko O. A., Kharkhota L. V., Likhatskaya E. N. Results of introduction and prospects for using rare woody plants in the exposition display garden of Donetsk Botanical Garden. – The paper presents results of introduction trials of endemic, relic, endangered woody plants represented in the exposition display garden «Rare arboreal plants» of the Donetsk Botanical Garden. This exposition display garden includes 40 taxa from 24 families. The exposition, including rare and plants with different zoological status, is of great interest to visitors of the Botanical Garden and a key object in the excursion route, as well as a basis for studying rare tree species.

Keywords: botanical garden, exposition display garden, rare species, introduction, adaptation, exposition modules.

Гридько Ольга Александровна

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник лаборатории
дендрологии ФГБНУ Донецкий ботанический сад,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: grydko@mail.ru
ORCID: 0009-0003-3360-3588
AuthorID: 1082651

Hrydko Olha Alexandrovna

Candidate of Biological Sciences;
Senior Researcher of the Department of Dendrology,
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

Хархота Людмила Валериевна

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник лаборатории
дендрологии ФГБНУ Донецкий ботанический сад,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: ludmilaharhota@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8399-1617
AuthorID: 1053598

Лихацкая Елена Николаевна

научный сотрудник лаборатории дендрологии
ФГБНУ Донецкий ботанический сад,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: lehatskaya@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0761-4219
AuthorID: 1229672

Kharkhota Lyudmila Valerievna

Candidate of Biological Sciences
Senior Researcher of the Department of Dendrology,
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

Likhatskaya Elena Nikolaevna

Research scientist of the Department of Dendrology,
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

© Д. А. Достовалова¹, А. З. Глухов¹, Н. С. Подгородецкий²**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИДОВ УРБАНОДЕНДРОФЛОРЫ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА**¹ФГБНУ Донецкий ботанический сад

Россия, 283023, ДНР, г. Донецк, пр. Ильича, 110

²ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Россия, 286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2

Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С. Функциональные возможности видов урбанодрендроты в условиях породных отвалов угольных шахт Донбасса. – Проведен анализ состояния древесных насаждений и спонтанной растительности на шахтных породных отвалах в городской черте Донецка и Макеевки. Определены коэффициенты биологического поглощения и захвата химических элементов из группы тяжелых металлов, как наиболее опасных породных загрязнителей для здоровья населения. Показана эффективность использования представителей урбанодрендроты для оптимизации экологического состояния техногенных территорий. Обоснована модель наименее затратного и результативного решения проблемы социально-экологической безопасности шахтных породных отвалов.

Ключевые слова: экосистема, шахтный породный отвал, коэффициент биологического поглощения.

Введение

Одними из основных источников экологической опасности в ДНР, как антропогенно трансформированном макрорегионе, являются в первую очередь породные отвалы угольных шахт. Их негативное воздействие на окружающую среду определяется рядом факторов: изъятием из сельскохозяйственного пользования территорий с плодородными почвами, загрязнением атмосферного воздуха продуктами горения и пылевыми частицами, смывом породы с поверхности отвалов с последующим засолением почв близлежащих территорий, комплексным поражением всей биоты и других компонентов окружающей среды.

Проблема адекватной оценки экологического риска тесно связана со многими другими экологическими и экономическими проблемами: финансированием экологических исследований и природоохранных мероприятий, экологическим страхованием и другими [6, 7, 9, 12–15]. Рост угледобычи и увеличение объемов с одной стороны являются экономически прибыльными и ведут к пополнению местных бюджетов, с другой стороны ограничивают возможности развития человеческого потенциала, что выражается в увеличении заболеваемости и смертности, снижении продолжительности жизни, что, в свою очередь, приводит к ухудшению качества жизни и благосостояния населения и в целом к уменьшению индекса человеческого развития.

В системе социально-гигиенического мониторинга экологическим риском считается потенциальная опасность для здоровья отдельной личности, группы лиц, части населения или населения региона в целом, возникающая или ожидаемая в связи с неблагоприятным воздействием отдельных факторов окружающей среды [1], что определяет территорию Донецкой Народной Республики (Донбасса) как зону экологического риска.

Одним из направлений по обеспечению устойчивого развития и повышению инвестиционной привлекательности ДНР как промышленного макрорегиона может выступать разработка комплекса мероприятий по минимизации неблагоприятного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Для улучшения экологической обстановки в регионе необходимо проведение дифференцированных мероприятий, разработанных на основе мониторинговых исследований и направленных на снижение выбросов продуктов горения (в том числе

парниковых газов) и пылевидных частиц с поверхности отвалов, которые являются основным фактором, определяющим загрязнение всех компонентов окружающей среды и оказывающими воздействие на здоровье населения.

Цель исследований – анализ состояния древесных насаждений и спонтанной растительности на шахтных породных отвалах в городской черте Донецка и Макеевки, а также оценка эффективности использования представителей урбанодендрофлоры для оптимизации экологического состояния техногенных территорий.

Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны угольные отвалы, находящиеся в черте городов Донецкой Народной Республики (Донецк, Макеевка).

По данным ряда научных исследований техногенная нагрузка в ДНР в 5–10 раз выше средней. Общая площадь техногенных объектов на территории некоторых городов достигает 10 % и более от их площади [8, 10, 11].

В 2024 году был произведен отбор проб породного субстрата и растительного материала на 3 озелененных породных отвалах ДНР: шахты бывшей 6/14 (г. Макеевка), шахты 5/6 имени Димитрова и шахты Запореваляная (г. Донецк) и 1 самозаросшем плоском породном отвале шахты № 9 Капитальная (г. Донецк) (рис.).

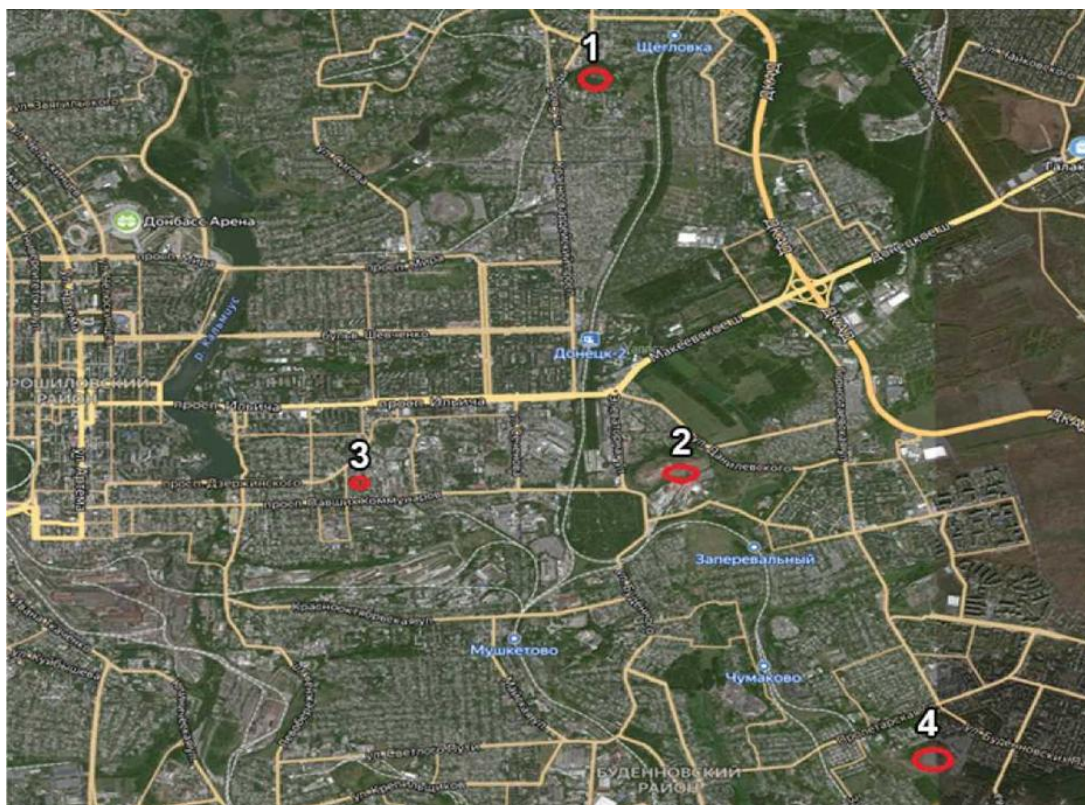


Рис. Картосхема точек отбора проб субстрата и растительного материала:

1 – отвал бывшей шахты 6/14; 2 – отвал шахты Запореваляная; 3 – отвал шахты 5/6 им. Димитрова;
4 – отвал шахты № 9 Капитальная

В настоящее время очаги горения на отвалах отсутствуют. Возраст отвалов примерно одинаковый – 45–60 лет. Температура в тени и под кронами деревьев составляет 20–22 °С, в местах попадания солнечных лучей – до 30 °С (измерения проводились в мае 2024 г.). Порода на отвалах слабо вентилируемая, состоит из фрагментов породы разного размера. Содержание фракции менее 1 мм составляет от 11 до 27 %. Отвалы находятся в стадии окисления и массового поселения растений.

Отвал шахты 5/6 имеет самый высокий возраст среди исследованных отвалов (57 лет) с момента окончания эксплуатации, что, по-видимому, является причиной самого низкого

уровня запыленности из-за максимального выветривания породы. Отвал шахты Заперевальная заселен растениями только наполовину, верхняя его часть подвержена окислению и выгоранию, возможно, это влияет на высокий уровень запыленности листьев растений, расположенных на нижних уровнях. На отвале шахты 6/14 также обнаружены окаменелые остатки сгоревшей породы. Отвал шахты № 9 Капитальная почти полностью зарос, но во многих местах его слагают более окаменевшие остатки породы, чем почвенный субстрат.

Отбор проб листьев проводили методом средней пробы в нижней части кроны деревьев с внешней ее стороны (по окружности) согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства [11].

Для учета накопления металлов в условиях городской среды брали образцы за основной период вегетации (июнь–август). Отбирали листья с ветвей 1–2-го года жизни на расстоянии 2–3 м от поверхности грунта. Далее пробы промывали трижды проточной и дважды – дистиллированной водой и доводили до воздушно-сухого состояния. Также был проведен лабораторный анализ пламенным атомно-абсорбционным методом на базе Министерства природных ресурсов и экологии ДНР. Важным показателем биогенной миграции является коэффициент биологического поглощения, предложенный Б. Б. Польшовым [16]. Он характеризует интенсивность поглощения элемента растением и рассчитывается как отношение содержания химического элемента в золе растения к его содержанию в почве или в горной породе.

Коэффициент биологического поглощения древесных растений (КБП) рассчитывается по формуле:

$$\text{КБП} = \frac{C_p}{C_n} \quad (1)$$

где C_p – соотношение содержания элемента в надземной части растения, мг/кг;

C_n – валовое содержание элемента в почве, мг/кг.

Исследуемыми видами древесных растений являлись *Robinia pseudoacacia* L., *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Juglans regia* L., *Acer negundo* L. Авторами была выбрана для изучения нижняя треть южного склона каждого отвала, где можно было встретить каждый из вышеперечисленных видов растений.

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов валового содержания металлов в субстрате озелененных породных отвалов представлены в таблице.

Таблица

Валовое содержание металлов в субстрате озелененных отвалов, мг/кг

Отвал	Элемент											
	Cd	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Fe	Cr	K	Mg	Na	Mn
ш. 6/14	1,6	20,3	26,9	9,7	55,1	118,4	22918,9	3,2	4522,3	349,6	463,5	214,0
ш. 5/6 им. Димитрова	1,7	45,8	43,1	8,6	42,4	164,3	26030,1	19,0	3577,4	3882,6	542,6	388,2
ш. Заперевальная	0,017	57,3	42,2	0,1	53,9	190,2	24190,3	19,2	3218,8	4906,9	309,7	225,9
ш. № 9 Капитальная	0,016	46,7	42,0	0,2	171,0	123,3	22636,3	16,3	2284,0	4553,1	132,6	402,3
ПДК	2,0	132,0	80,0	5,0	130,0	220,0	0,5	6,0	—	—	—	1500,0

Для металлов класса опасности 1:

Содержание Cd находится в пределах приблизительной допустимой концентрации в породе всех исследованных отвалов.

Превышение предельно допустимой концентрации Pb наблюдается только в субстрате ш. № 9 Капитальная, что, предположительно, связано с найденной щелочной батареей.

Превышение концентрации Zn не наблюдается.

Для металлов 2-го класса опасности:

Превышение примерной допустимой концентрации по Cu не наблюдается.

Превышение допустимой концентрации Co не наблюдается на отвалах ш. № 9 Капитальная и ш. Заперевальная. Превышение в 3 раза наблюдается в породе горящих отвалов. На отвалах ш. 6/14 и 5/6 им. Димитрова – в 1,7–1,9 раза. На отвалах наблюдается снижение содержания в субстрате кобальта, соответственно, кобальт усваивается растениями.

По Cr превышения не наблюдается только в субстрате ш. 6/14, в остальных отвалах – от 2 до 3 долей предельно допустимой концентрации. Cr плохо усваивается растениями. Основным фактором накопления этого элемента в осадочных породах является наличие глинистых частиц и органического вещества.

Для Ni в субстрате отвалов также превышения не наблюдается.

По Fe зашкаливающие показатели наблюдаются во всех отвалах. Причиной данного явления может быть длительное выветривание или метаморфоз. Благодаря этим процессам образуются железистые кварциты, которые могут содержать много железа.

Для металлов 3-го класса опасности:

По Mn превышение приблизительной допустимой концентрации не наблюдается.

Для металлов 4-го класса опасности:

Превышение предельно допустимой концентрации K от 6 до 12 фракций наблюдается на всех отвалах. Предположительно, высокое содержание калия в породе связано с активным выветриванием всех отвалов.

Приблизительные стандарты для содержания Na, K и Mg не установлены. Натрий и калий являются основными компонентами силикатных пород.

На основе изучения по вариантам лизиметрического эксперимента коэффициентов биологического поглощения изучаемых металлов для каждого древесного растения были построены эмпирические ряды их накопления.

Соответственно, ряды биологического поглощения элементов *R. pseudoacacia* будут иметь вид:

Отвал ш. 6/14: K (4,65) > Mg (4,34) > Ni (1,30) > Cd (1,05) > Pb (1,00) > Cu (0,9) > Mn (0,60) > Na (0,53) > Zn (0,46) > Co (0,58) > Cr (0,085) > Fe (0,0090).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: K (3,17) > Cu (2,0) > Pb (1,90) > Cr (1,05) > Mg (0,96) > Ni (0,95) > Cd (0,84) > Zn (0,67) > Mn (0,64) > Na (0,49) > Co (0,38) > Fe (0,0037).

Отвал ш. Заперевальная: K (3,72) > Cr (3,20) > Ni (1,55) > Cd (1,05) > Zn (1,00) > Na (0,99) > Mg (0,89) > Co (0,90) > Pb (0,88) > Cu (0,67) > Mn (0,15) > Fe (0,010).

Отвал ш. № 9 Капитальная: K (7,28) > Na (3,32) > Cd (2,05) > Ni (2,03) > Cu (1,05) > Zn (0,78) > Pb (0,75) > Mg (0,58) > Cr (0,53) > Mn (0,14) > Co (0,12) > Fe (0,0044).

Группа биологического накопления токсикантов включает: K, Cd, Cu, Pb, Ni, Cr.

Группа биологического захвата: Mg, Mn, Na, Zn, Co, Fe.

Для *Q. robur* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: Pb (2,00) > Cu (1,80) > K (1,67) > Na (1,57) > Cr (0,90) > Cd (0,90) > Ni (0,80) > Mg (0,76) > Co (0,58) > Zn (0,32) > Mn (0,69) > Fe (0,025).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: Cu (1,95) > K (1,78) > Pb (1,46) > Cd (1,15) > Na (1,34) > Zn (1,15) > Ni (1,13) > Mg (1,12) > Co (0,93) > Mn (0,69) > Cr (0,13) > Fe (0,018).

Отвал ш. Заперевальная: Cu (2,00) > K (1,50) > Zn (1,35) > Cr (1,20) > Pb (1,18) > Cd (1,00) > Na (0,96) > Ni (0,95) > Mg (0,91) > Mn (0,43) > Co (0,15) > Fe (0,0075).

Отвал ш. № 9 Капитальная: Zn (1,83) > Pb (1,65) > Cu (1,55) > Na (1,48) > Ni (1,40) > K (0,90) > Co (0,45) > Cr (0,45) > Mn (0,38) > Mg (0,28) > Fe (0,021).

Группа биологического накопления токсикантов включает: Pb, Cu, K, Na, Zn, Ni, Cd.

Группа биологического захвата: Mg, Mn, Co, Cr, Fe.

Для *A. platanoides* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: К (5,12) > Cr (2,75) > Pb (2,18) > Mg (1,75) > Na (1,74) > Cd (1,64) > Zn (1,24) > Ni (1,16) > Co (0,91) > Mn (0,58) > Cu (0,50) > Fe (0,019).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: К (4,98) > Cr (2,42) > Pb (1,89) > Cd (1,80) > Na (1,36) > Zn (1,17) > Mg (0,90) > Cu (0,85) > Ni (0,82) > Co (0,28) > Mn (0,10) > Fe (0,045).

Отвал ш. Заперевальная: К (3,80) > Pb (1,73) > Cr (1,62) > Cd (1,46) > Na (1,39) > Mg (1,16) > Mn (0,94) > Zn (0,84) > Cu (0,75) > Co (0,34) > Ni (0,72) > Fe (0,089).

Отвал ш. № 9 Капитальная: К (4,18) > Na (2,15) > Cr (1,97) > Cd (1,93) > Pb (1,92) > Cu (1,10) > Zn (0,97) > Mg (0,84) > Co (0,80) > Ni (0,35) > Mn (0,35) > Fe (0,062).

Группа биологического накопления токсикантов включает: К, Cr, Pb, Cd, Na, Cd, Mg, Zn.

Группа биологического захвата: Mn, Fe, Co, Cu, Ni.

Для *J. regia* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: К (5,12) > Cd (2,18) > Ni (1,85) > Zn (1,83) > Na (1,80) > Mg (1,46) > Pb (1,23) > Cu (1,03) > Mn (0,85) > Co (0,84) > Cr (0,43) > Fe (0,0075).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: К (7,80) > Cd (2,65) > Mg (1,72) > Na (1,53) > Zn (1,52) > Co (1,10) > Cu (0,94) > Mn (0,92) > Ni (0,90) > Pb (0,84) > Cr (0,72) > Fe (0,0024).

Отвал ш. Заперевальная: К (3,73) > Cd (2,59) > Na (1,93) > Zn (1,85) > Co (1,79) > Cu (1,37) > Mg (0,98) > Mn (0,73) > Pb (0,65) > Ni (0,63) > Cr (0,15) > Fe (0,023).

Отвал ш. № 9 Капитальная: К (3,26) > Zn (1,92) > Cd (1,85) > Co (1,53) > Ni (1,48) > Cu (1,18) > Na (1,05) > Cr (1,04) > Pb (0,91) > Mg (0,86) > Mn (0,62) > Fe (0,073).

Группа биологического накопления токсикантов включает: К, Cd, Ni, Zn, Na, Cu.

Группа биологического захвата: Fe, Mn, Co, Mg, Cr.

Для *A. negundo* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: Na (2,10) > Cr (1,90) > Cu (1,83) > Mg (1,58) > Pb (1,04) > Zn (1,03) > Cd (0,96) > Ni (0,82) > Co (0,73) > K (0,72) > Mn (0,51) > Fe (0,075).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: К (1,64) > Na (1,57) > Cr (1,43) > Ni (1,12) > Mn (1,10) > Cu (1,04) > Cd (1,01) > Zn (0,84) > Pb (0,82) > Co (0,58) > Mg (0,15) > Fe (0,0090).

Отвал ш. Заперевальная: Cr (2,00) > К (1,83) > Na (1,12) > Cu (1,07) > Co (0,95) > Mn (0,92) > Pb (0,79) > Ni (0,69) > Cd (0,54) > Zn (0,48) > Mg (0,29) > Fe (0,018).

Отвал ш. № 9 Капитальная: Na (1,95) > Ni (1,93) > Cu (1,65) > Cr (1,35) > K (1,21) > Cd (0,73) > Mn (0,68) > Pb (0,65) > Zn (0,36) > Co (0,28) > Mg (0,06) > Fe (0,062).

Группа биологического накопления токсикантов включает: Na, Cr, Cu, Mg, Pb, Zn, K, Na, Ni.

Группа биологического захвата: Mn, Fe, Co.

Анализ данных экспериментов и расчетов показал, что различные породные отвалы, отличающиеся химическим составом слагающих пород, местом расположения, сроком эксплуатации, размерами и другими параметрами оказали влияние на значения коэффициентов биологического поглощения изучаемых элементов для всех представленных видов древесных растений. Лучшими свойствами к накоплению К, Cd, Cu обладает *R. pseudoacacia*, *Q. robur* накапливает Cu, Pb, Zn, *A. platanoides* – К, Cr, Cd, *J. regia* – К, Cd, Zn, *A. negundo* – Na, K, Cr.

Выводы

Наблюдается тенденция повторяемости элементов, попавших как в группу биологического поглощения, так и в группу биологического захвата. Лидирующими и наиболее легко усваиваемыми элементами являются К, Cd, Cu, Zn, Pb, Na. Наибольшие значения вышеперечисленных элементов зафиксированы в растительном материале *A. platanoides* и *J. regia*.

Анализ эмпирических рядов накопления показал, что интенсивнее накапливаются кадмий и цинк, чем медь и свинец. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 кадмий, свинец и цинк относятся к химическим веществам первого класса опасности, поэтому нуждаются в пристальном контроле за содержанием в элементах экосистем.

Проведенное исследование растительных образцов подтвердило высокие кумулятивные особенности рассмотренных видов по отношению к ряду исследованных металлов. На основе результатов можно предложить использовать урбанодендрофлору в качестве чувствительных биоиндикаторов по отношению к металлам, что делает растения важным объектом экологического мониторинга в совокупности с исследованиями водных сред, почв и воздуха. Применение древесных растений в качестве чутких биоиндикаторов может оказать большую помощь в мониторинге окружающей среды, так как возможна визуальная оценка загрязнений, предполагающая зонирование по видовому составу, внешнему виду, с применением индикационных индексов, а также химический анализ на содержание различных веществ (в частности металлов).

Принимая во внимание значения рассчитанных коэффициентов, можно сделать вывод о том, что высоким фиторемедиационным потенциалом по отношению к кадмию, меди и свинцу в диапазоне его низких и средних концентраций в почве обладают *R. pseudoacacia* и *A. platanoides*, по отношению к цинку и никелю – *Q. robur* и *A. negundo*. Фиторемедиационный потенциал *R. pseudoacacia* – Cu (0,67–2,0); Cd (0,84–2,05), Pb (0,75–1,90), *A. platanoides* – Cu (0,50–1,10); Cd (1,46–1,93), Pb (1,73–2,18), *Q. robur* – Zn (0,32–1,83); Ni (0,80–1,40), *A. negundo* – Zn (0,36–1,84); Ni (0,69–1,93).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме «Классификация почвенно-растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования Земли» (регистрационный № 124101500495-0).

Список литературы

1. Достовалова Д. А., Подгородецкий Н. С., Глухов А. З., Жуков С. П. Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32, № 4. С. 431–444. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-431-444. EDN: NJPHDW.
2. Жмылёв П. Ю., Алексеев Ю. Е., Морозова О. В. Биоморфологическое разнообразие сосудистых растений Московской области. Дубна: Дубна, 2017. 325 с.
3. Жуков С. П. Слияние рекультивированных отвалов шахт с городским ландшафтом как вариант экологической оптимизации старопромышленных территорий // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 147. С. 210–211. EDN: YAJZTV.
4. Жуков С. П., Мартынова Е. А. Отвал шахты № 5–6 г. Донецка: 100-летний юбилей, ретроспективы и перспективы // Комплексное использование природных ресурсов. Сб. науч. работ регион. конф. (Донецк, 10 дек. 2015 г.), под ред. В. Н. Артамонов, Д. А. Козырь. Донецк: ДонНТУ. 2015. С. 167–168.
5. Калинина А. В. Популяционный мониторинг техногенных экотопов некоторых породных отвалов г. Макеевки // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XVII Всеросс. научно-практ. конф. с международ. участием, (Киров, 05 декабря 2019 г.). Том Книга 2. – Киров: Вятский государственный университет, 2019. С. 13–15. EDN: QCAPKF.
6. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34. EDN: KDDDU.
7. Камкин В. А., Абеусов С. К. Лесная фитопатология: Учебно-методическое пособие / Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова. Павлодар: Кереку, 2017. 150 с.

8. Каиштанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швобс Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Издательство «Колос», 1994. 127 с. DOI: 10.13140/2.1.3651.4080.
9. Козловский Б. Л., Куропятников М. В., Федорина О. И. Эколого-биологическая характеристика древесных растений урбанofлоры Ростова-на-Дону // Известия Иркутского ГУ. Серия «Биология, Экология», 2011. Т. 4, № 2. С. 38–43.
10. Коришников И. И., Котов В. С., Михеенко И. П. Фитоиндикация качества окружающей среды в техногенных районах В кн.: Каталог разработок Донецкого ботанического сада. Донецк: Б. и., 1994. С. 14–15.
11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / А. М. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов, Э. П. Махонька; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО). – Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 1992. 61 с. EDN: UWFEXP.
12. Новикова А. Л., Чубик М. В. Фиторемедиация почв // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всеросс. научно-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Юрга, 27–28 ноября 2014 г.) / Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета. Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. С. 52–54. EDN: TJJNUJ.
13. Пылинов Б. Б. Избранные труды. М.: Изд-во Академии наук; 1956. 751 с.
14. Рябоконь С. М., Духарев В. А., Коришников И. И. Генетические последствия загрязнения окружающей среды для древесных растений // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития. Тезисы докладов республиканской науч. конф., посвященной 25-летию Донецкого ботанического сада АН УССР (Донецк, сентябрь 1990 г.). К.: Наукова думка, 1990. С. 35–37.
15. Сафонова Е. В., Бабкина С. В., Селиванова И. И. Спектр жизненных форм растений как показатель степени антропогенной трансформации флоры // Человек и природа: грани гармонии и углы соприкосновения: материалы Всеросс. научно-практ. конф. (27 апреля 2012 г.). Комсомольск-на-Амуре: изд-во АмГПУ. 2012. С. 153.
16. Box E. Predicting physiognomic vegetation types with climate variables // Vegetatio. 1981. Vol. 45. P. 27–39. <https://doi.org/10.1007/BF00119222>.
17. Di Biase L., Pace L., Manton C., Fattorini S. Variations in Plant Richness Biogeographical Composition, and Life Forms along an Elevational Gradient in a Mediterranean Mountain // Plants. 2021. Vol. 10, No. 10. 2090. <https://doi.org/10.3390/plants10102090>.
18. Gallagher R. V., Leishman M. R. A global analysis of trait variation and evolution in climbing plants // Journal of Biogeography. 2012. Vol. 39. P. 1757–1771. <https://doi.org/10.1111/j.13652699.2012.02773>.
19. Klimeš L. Life-forms and clonality of vascular plants along an altitudinal gradient in E Ladakh (NW Himalayas) // Basic Appl. Ecol. 2003. Vol. 4 No. 4. P. 317–328. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00163>.
20. Loidi J. The concept of vegetation class and order in phytosociological syntaxonomy // Vegetation Classification and Survey. 2020. Vol. 1. P. 163–167. <https://doi.org/10.3897/VCS/2020/59977>.
21. Loidi J., Chytrý M., Jiménez-Alfaro B., Alessi N., Biurrun I., Campos J. A., Čarni A., Fernández-Pascual E., Xavier Font Castell, Gholizadeh H., Indreica A., Kavgaci A., Knollová I., Naqinezhad A., Novák P., Nowak A., Škvorec Z., Tširipidis I., Vassilev K., Marcenò C. Life-form diversity across temperate deciduous forests of Western Eurasia: A different story in the understory // Journal of Biogeography. 2021. Vol. 48. P. 2932–2945. <https://doi.org/10.1111/jbi.14254>.

Поступила в редакцию 05.06.2025 г.

Dostovalova D. A., Glukhov A. Z., Podgorodetsky N. S. Functional capabilities of urbanodendroflora species in rock dumps of Donbass coal mines. – An analysis of the state of tree plantations and spontaneous vegetation on mine rock dumps in the urban areas of Donetsk and Makeyevka has been carried out. The coefficients of biological absorption and capture of chemical elements from the group of heavy metals, as the most dangerous rock pollutants for public health, are determined. The effectiveness of using representatives of urbanodendroflora to optimize the ecological state of man-made territories is shown. The model of the least costly and effective solution to the problem of socio-ecological safety of mine rock dumps is substantiated.

Keywords: ecosystem, mining rock dump, biological absorption coefficient

Достовалова Дарья Александровна

аспирант, младший научный сотрудник
лаборатории экологической информатики и
моделирования ФГБНУ Донецкий ботанический сад
г. Донецк, ДНР, РФ.

E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Author ID: 1181137

ORCID: 0000-0001-6308-6524

Dostovalova Daria Alexandrovna

Postgraduate student, Junior Researcher
at the Laboratory of Environmental Informatics and
Modeling
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

Глухов Александр Захарович

доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории культурных
растений ФГБНУ Донецкий ботанический сад
г. Донецк, ДНР, РФ.

E-mail: glukhov.az@mail.ru

Author ID: 1034119

ORCID: 0000-0001-9675-7611

Glukhov Alexander Zakharovich

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Chief Researcher laboratories of cultivated plants
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

Подгородецкий Николай Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры
техносферной безопасности
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»
г. Макеевка, ДНР, РФ.

E-mail: n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru

Author ID: 836893

ORCID: 0009-0000-7553-7222

Podgorodetsky Nikolay Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
Technosphere Safety Department
Donbass National Academy of Civil engineering and
Architecture,
Makeyevka, DPR, Russian Federation.

© Н. А. Дьякова

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ НЕКОТОРЫХ АГРОЦЕНОЗОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1*

Дьякова Н. А. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвах некоторых агроценозов Воронежской области. – В работе представлены результаты аналитического анализа содержания некоторых тяжелых металлов и мышьяка в почвах агроценозов Воронежской области. Концентрации валовых и подвижных форм элементов оказались соответствующими требованиям нормативной документации в большинстве исследованных образцов почв. Сравнительный анализ полученных результатов с кларками селитебных почв также свидетельствует об относительно экологическом благополучии почв агроценозов региона.

Ключевые слова: почва, агроценозы, тяжелые металлы, мышьяк, валовые формы, подвижные формы, кларки.

Введение

Возрастание техногенной нагрузки на окружающую среду обуславливает необходимость постоянного мониторинга экологического состояния как естественных, так и искусственно созданных экосистем [24, 26]. В таких условиях почва, а особенно верхние ее слои, является ключевым депонирующим компонентом ряда экотоксикантов, выделяющихся в результате хозяйственной деятельности человека [4, 11, 17].

Воронежская область относится к важным агропромышленным субъектам Российской Федерации. Регион обладает ежегодным приростом индекса промышленного производства, составляющим на 2023 г. 107 % [7, 9]. Однако разработки месторождений полезных ископаемых, активное применение пестицидов и удобрений, расширение производств и транспортной инфраструктуры, последствия Чернобыльской катастрофы актуализировали вопрос безопасности растительной продукции [3, 12, 14, 15].

Основными источниками загрязнения биосферы токсичными элементами являются автотранспорт (50–80 % антропогенной нагрузки), промышленные предприятия, применение удобрений и ядохимикатов [10, 20, 22]. Выхлопные газы автомобилей выбрасываются преимущественно низко над почвой, при этом концентрация токсичных веществ и дальность рассеивания выхлопных газов во многом зависит от режима работы двигателя, интенсивности движения, наличия естественных и искусственных заграждений вдоль дорог [5, 17, 22]. В условиях сельской местности высокие концентрации токсичных элементов в почве и растениях преимущественно характеризуется расстоянием 100 м от обочины дороги [2, 23]. В зоне влияния промышленных предприятий распространение экотоксикантов зависит от розы ветров, климатических и погодных условий, особенностей очистных сооружений и высоты дымовых труб [6, 17, 19, 22].

Принимая во внимание ежегодно возрастающее воздействие на флору и фауну тяжелых металлов как наиболее приоритетных экотоксикантов в силу их распространенности, токсического эффекта и способности к кумуляции, необходимо исследование по оценке загрязнения почв Воронежской области тяжелыми металлами и мышьяком в традиционных агропромышленных районах.

Цель исследования – представить результаты аналитического контроля содержания некоторых тяжелых металлов и мышьяка в почвах агроценозов Воронежской области.

Материал и методы исследования

Исследования проводили в 2018–2022 гг. для почв агроценозов Воронежской области, наиболее значимых для сельскохозяйственного сектора региона [13, 21]. Для анализа особенностей загрязнения почв экотоксикантами пробы также отбирали на территориях, лишенных антропогенного воздействия (заповедные зоны) [5, 8, 13].

Пробы почв отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 методом конверта на удалении 0–100 м от края сельскохозяйственного угодья. Исследовали верхние слои почв (0–10 см), так как именно они подвергаются наибольшему антропогенному воздействию.

Таблица 1

Список учетных площадок для отбора проб почв

№ п/п	Территория отбора пробы	Тип почвы	Географические координаты
Контрольные территории			
1	Воронежский заповедник им. (Рамонский р-н)	дерновые лесные	51°53' с. ш. и 39°30' в. д.
2	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	темно-серые лесные	51°22' с. ш. и 42°57' в. д.
3	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	пойменно-лесные серые глееватые	51°15' с. ш. и 41°46' в. д.
Агроценозы (сельскохозяйственные поля)			
4	Верхнехавский р-н	черноземы обыкновенные	51°38' с. ш. и 40°06' в. д.
5	Воробьевский р-н		50°38' с. ш. и 40°57' в. д.
6	Грибановский р-н		51°26' с. ш. и 41°58' в. д.
7	Лискинский р-н		50°58' с. ш. и 39°28' в. д.
8	Новохоперский р-н		51°07' с. ш. и 41°37' в. д.
9	Ольховатский р-н		50°17' с. ш. и 39°16' в. д.
10	Панинский р-н		51°38' с. ш. и 40°06' в. д.
11	Петропавловский р-н		50°06' с. ш. и 40°54' в. д.
12	Подгоренский р-н		50°25' с. ш. и 39°41' в. д.
13	Репьевский р-н		51°05' с. ш. и 38°39' в. д.
14	Россошанский р-н		50°12' с. ш. и 39°35' в. д.
15	Хохольский р-н		51°34' с. ш. и 38°47' в. д.
16	Эртильский р-н		51°51' с. ш. и 40°48' в. д.

Определяли содержание валовых и подвижных форм элементов 1 класса опасности – мышьяка, кадмия, ртути, свинца, цинка, никеля, а также некоторых наиболее токсичных металлов 2 класса опасности – меди, хрома и кобальта [18]. Определение содержания в почвах валовых и подвижных форм элементов проводили в соответствии с «МУ по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД. Для количественного определения ртути и мышьяка использовали ртутно-гидридную приставку РГП-915. Анализ осуществлялся с тремя параллельными опытами, допускаемые расхождения определения определяли при доверительной вероятности 95 %.

Результаты и обсуждение

Концентрация валовых форм свинца в почвах агроценозов не превышала 13,1 мг/кг (табл. 2), что на порядок меньше ОДК (130 мг/кг) [18]. Содержание подвижных форм элемента составило не более 1,38 мг/кг (табл. 3), что также менее ПДК (6,0 мг/кг) [18]. Для почв контрольных территорий отмечено содержание валовых форм свинца на более низком уровне, не превышающем 4,7 мг/кг, а концентрация подвижных форм элемента соответствовало таковым для сельскохозяйственных угодий.

Таблица 2

**Концентрации валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах
агроценозов Воронежской области, мг/кг**

№ п/п	Территория отбора пробы	Элемент								
		Pb	Cd	Hg	As	Co	Cr	Ni	Zn	Cu
Контрольные территории										
1	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	4,10	0,02	0,04	0,90	2,99	3,90	2,24	11,48	3,30
2	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	4,74	0,04	0,01	0,55	1,84	2,86	2,86	25,61	6,85
3	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	4,33	0,07	0,03	0,64	2,17	4,63	5,76	17,35	7,41
Агроценозы (сельскохозяйственные поля)										
4	Верхнехавский р-н	11,54	0,31	0,08	1,34	6,39	10,54	4,86	29,09	26,83
5	Воробьевский р-н	2,78	0,11	0,07	0,66	5,11	4,02	7,31	14,77	23,38
6	Грибановский р-н	6,21	0,07	0,02	1,28	4,04	4,18	11,82	35,72	18,01
7	Лискинский р-н	7,83	0,33	0,06	0,74	9,33	9,57	1,46	9,58	17,88
8	Новохоперский р-н	4,45	0,22	0,01	1,07	4,01	2,53	4,85	17,86	10,57
9	Ольховатский р-н	1,71	0,26	0,08	0,98	5,46	12,72	8,96	30,20	9,34
10	Панинский р-н	6,86	0,23	0,11	1,26	8,62	12,88	10,87	47,93	10,34
11	Петропавловский р-н	4,67	0,25	0,08	0,69	10,04	8,42	1,35	28,97	29,62
12	Подгоренский р-н	3,21	0,25	0,04	0,91	7,38	4,46	13,83	26,62	26,95
13	Репьевский р-н	3,21	0,18	0,08	1,19	9,91	7,26	6,21	21,08	9,37
14	Россошанский р-н	6,76	0,22	0,13	1,21	8,31	8,51	14,57	25,01	28,76
15	Хохольский р-н	3,51	0,18	0,04	0,82	7,01	6,62	12,12	41,82	15,41
16	Эртильский р-н	13,11	0,32	0,12	0,73	4,58	4,68	12,98	46,75	14,92
ОДК [18]		130,0	2,0	2,1	10,0	-	-	80,0	220,0	132,0
Мировой кларк почв по Д. П. Малюга [16]		10,0	0,5	0,03	5,0	10,0	200,0	40,0	50,0	20,0
Кларк селитебных почв по В. А. Алексеенко [1]		54,5	0,9	0,88	15,9	14,1	80,0	33,0	158,0	39,0

Концентрация валовых и подвижных форм кадмия в почвах сельскохозяйственных угодий и контрольных зон не превышала установленных нормативов ОДК И ПДК соответственно, однако показано более высокий уровень содержания кадмия в почвах агроценозов региона, что может быть связано с применением кадмийсодержащих пестицидов [10, 25].

Концентрация валовых и подвижных форм ртути в почвах агроценозов Воронежской области составляла не более 0,13 мг/кг, содержание ее подвижных форм оценивалось на уровне, не превышающем 0,008 мг/кг, что является относительно невысокими показателями [5, 8, 14]. Значительные отличия валовых концентраций и содержания подвижных форм ртути (на порядок) объясняются высокой способностью элемента к образованию прочных комплексов с гуминовыми кислотами и низкой растворимости соединений металла в почвенном растворе [3, 4].

Содержание валовых и подвижных форм мышьяка в почвах сельскохозяйственных угодий Воронежской области варьировало на относительно невысоком уровне [5, 8, 14, 18] и сопоставимо с числовыми показателями элемента в почвах контрольных зон.

Содержание валовых форм хрома в почвах сельскохозяйственных земель региона не превышало 12,9 мг/кг, концентрация подвижных форм – 0,90 мг/кг, что является относительно невысоким уровнем [5, 8, 14], однако, значительно выше концентраций валовых и подвижных форм элемента в почвах контрольных зон.

Концентрации валовых и подвижных форм кобальта в почвах агроценозов также принимали более высокие значения в сравнении с образцами контрольных площадок. Для сельскохозяйственных угодий ряда районов (Лискинский, Петропавловский, Репьевский)

данные отличия отмечены более чем в 2 раза, что, вероятно, связано с высоким уровнем применения в данных районах минеральных удобрений, содержащих кобальт [10, 21].

Таблица 3

Концентрации подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах агроценозов Воронежской области, мг/кг

№ п/п	Территория отбора пробы	Элемент								
		Pb	Cd	Hg	As	Co	Cr	Ni	Zn	Cu
Контрольные территории										
1	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	1,03	0,005	0,010	0,068	0,60	0,55	0,27	3,44	0,92
2	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	1,90	0,010	0,001	0,050	0,33	0,49	0,47	5,63	1,05
3	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	1,33	0,019	0,007	0,037	0,51	0,88	0,68	4,41	1,63
Агроценозы (сельскохозяйственные поля)										
4	Верхнехавский р-н	1,38	0,020	0,008	0,035	0,65	0,44	0,25	2,06	1,68
5	Воробьевский р-н	0,38	0,018	0,005	0,021	0,41	0,16	0,67	2,97	1,43
6	Грибановский р-н	0,51	0,006	0,001	0,051	0,55	0,25	0,48	5,33	1,81
7	Лискинский р-н	0,72	0,028	0,004	0,018	1,13	0,28	0,04	2,02	1,74
8	Новохоперский р-н	0,63	0,025	0,002	0,043	0,55	0,24	0,33	2,17	0,75
9	Ольховатский р-н	0,25	0,024	0,005	0,027	0,45	0,87	0,65	3,05	0,47
10	Панинский р-н	1,05	0,018	0,004	0,059	0,78	0,90	0,64	4,33	0,94
11	Петропавловский р-н	0,70	0,030	0,002	0,021	0,92	0,35	0,09	3,45	1,79
12	Подгоренский р-н	0,43	0,031	0,001	0,029	0,54	0,42	1,42	2,41	2,42
13	Репьевский р-н	0,23	0,025	0,005	0,054	1,19	0,47	1,38	1,90	0,89
14	Россошанский р-н	0,75	0,026	0,006	0,037	0,84	0,61	1,01	2,55	3,45
15	Хохольский р-н	0,47	0,019	0,002	0,028	0,72	0,22	0,99	7,11	1,71
16	Эртильский р-н	1,35	0,027	0,005	0,011	0,61	0,29	1,05	5,62	1,36
ПДК [18]		6,0	-	-	-	5,0	6,0	4,0	23,0	3,0

Результаты определения валовых концентраций и концентраций подвижных форм никеля позволили выявить значительно более высокий уровень его содержания в почвах сельскохозяйственных угодий ряда районов (Подгоренского, Россошанского, Хохольского, Эртильского и др.), что можно объяснить особенностями почв исследуемых агроценозов, представленных преимущественно черноземами, обладающими большей сорбционной емкостью в отношении тяжелых металлов по сравнению с лесными почвами [3, 23].

Валовая концентрация цинка и концентрация его подвижных форм в почвах агроценозов региона соответствовала требованиям нормативной документации [18]. При этом валовое содержание элемента в почвах сельскохозяйственных угодий некоторых районов (Панинского, Эртильского, Хохольского) в два и более раза превышала его концентрацию в почвах контрольных зон. Содержание подвижных форм цинка в почвах ряда сельскохозяйственных полей также была выше концентраций элемента в образцах контрольных площадок. Цинк входит в число добавляемых в удобрения микроэлементов, чем можно объяснить более высокий уровень его содержания в почвах агроценозов [9, 15, 20].

Валовое содержание меди в почвах сельскохозяйственных земель Воронежской области также соответствовало требованиям нормативной документации, не превышая и 25 % от ОДК [18]. Превышение ПДК подвижных форм меди выявлено агроценозе Россошанского района, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов расположенного в непосредственной близости промышленного предприятия ОАО «Минудобрения», регионального производителя минеральных удобрений, в которые медь входит в качестве микроэлементной добавки [2, 7, 10].

Применение для интерпретации полученных результатов предельно и ориентировочно допустимых концентраций вызывает ряд затруднений в связи с их широким варьированием в зависимости от типа почв и др. Более точной эколого-геохимической характеристикой почв являются кларки, так как отражают содержание элементов при одновременном влиянии естественных и техногенных процессов, происходящих в период установления кларков. С течением времени числовые значения кларков изменяются, однако, их представляется возможным использовать в качестве сравнительных показателей для формирования выводов о загрязнении почв [1, 6, 16].

Для анализа экспериментальных результатов сравнивали валовые концентрации элементов в почвах сельскохозяйственных угодий и контрольных зон с кларками по Д. П. Малюга [16] (табл. 4) и по В. А. Алексеенко [1] (табл. 5).

При сопоставлении валовых концентраций токсичных элементов в почвах сельскохозяйственных угодий Воронежской области с мировыми кларками их по Д. П. Малюга (табл. 4) превышение было установлено преимущественно по содержанию ртути: в 1 образце контрольных зон и в 11 из 13 образцах агроценозов, что может быть связано с широким применением ртутьсодержащих пестицидов во второй половине XX века. По меди отмечено превышение кларков в 5 из 13 образцов почв агроценозов, по свинцу – в 2 образцах почв, по кобальту – в 1 образце. Концентрации хрома, цинка, никеля, мышьяка в изучаемых почвах сельскохозяйственных угодий региона не превышали мировых кларков по Д. П. Малюга.

Таблица 4

Отношение валовых концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах агроценозов Воронежской области к кларкам по Д. П. Малюга [16]

№ п/п	Территория отбора пробы	Элемент								
		Pb	Cd	Hg	As	Co	Cr	Ni	Zn	Cu
Контрольные территории										
1	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	0,41	0,04	1,33	0,18	0,30	0,02	0,06	0,23	0,17
2	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	0,47	0,06	0,33	0,11	0,18	0,01	0,07	0,51	0,34
3	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	0,43	0,14	0,67	0,12	0,22	0,02	0,14	0,35	0,37
Агроценозы (сельскохозяйственные поля)										
4	Верхнехавский р-н	1,15	0,60	3,00	0,27	0,64	0,05	0,12	0,58	1,34
5	Воробьевский р-н	0,28	0,20	2,00	0,13	0,51	0,02	0,18	0,30	1,17
6	Грибановский р-н	0,62	0,14	0,67	0,26	0,40	0,02	0,30	0,71	0,90
7	Лискинский р-н	0,78	0,68	1,67	0,15	0,93	0,05	0,04	0,19	0,89
8	Новохоперский р-н	0,44	0,42	0,33	0,21	0,40	0,01	0,12	0,36	0,53
9	Ольховатский р-н	0,17	0,50	2,33	0,20	0,55	0,06	0,22	0,60	0,47
10	Панинский р-н	0,69	0,48	3,33	0,25	0,86	0,06	0,27	0,96	0,52
11	Петропавловский р-н	0,46	0,52	2,33	0,14	1,04	0,04	0,03	0,58	1,48
12	Подгоренский р-н	0,32	0,48	1,33	0,18	0,74	0,02	0,35	0,53	1,35
13	Репьевский р-н	0,32	0,34	3,00	0,24	0,99	0,04	0,16	0,42	0,47
14	Россошанский р-н	0,68	0,48	4,33	0,24	0,83	0,04	0,36	0,50	1,44
15	Хохольский р-н	0,35	0,36	1,33	0,16	0,70	0,03	0,30	0,84	0,77
16	Эртильский р-н	1,31	0,64	3,67	0,14	0,46	0,02	0,32	0,93	0,75

При сравнении полученных результатов с кларками селитебных почв по В. А. Алексеенко (табл. 5) превышений их не было выявлено, что свидетельствует об относительном экологическом благополучии почв сельскохозяйственных угодий Воронежской области [1, 2].

Таблица 5

Отношение валовых концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах агроценозов Воронежской области к кларкам селитебных почв по В. А. Алексеенко [1]

№ п/п	Территория отбора пробы	Элемент								
		Pb	Cd	Hg	As	Co	Cr	Ni	Zn	Cu
Контрольные территории										
1	Воронежский заповедник (Рамонский р-н)	0,08	0,02	0,05	0,06	0,21	0,05	0,07	0,07	0,08
2	Теллермановский лес (Борисоглебский район)	0,09	0,03	0,01	0,03	0,13	0,04	0,09	0,16	0,18
3	Хоперский заповедник (Новохоперский р-н)	0,08	0,08	0,02	0,04	0,15	0,06	0,17	0,11	0,19
Агроценозы (сельскохозяйственные поля)										
4	Верхнехавский р-н	0,21	0,33	0,10	0,08	0,45	0,13	0,15	0,18	0,69
5	Воробьевский р-н	0,05	0,11	0,07	0,04	0,36	0,05	0,22	0,09	0,60
6	Грибановский р-н	0,11	0,08	0,02	0,08	0,29	0,05	0,36	0,23	0,46
7	Лискинский р-н	0,14	0,38	0,06	0,05	0,66	0,12	0,04	0,06	0,46
8	Новохоперский р-н	0,08	0,23	0,01	0,07	0,29	0,03	0,15	0,11	0,27
9	Ольховатский р-н	0,03	0,28	0,08	0,06	0,39	0,16	0,27	0,19	0,24
10	Панинский р-н	0,13	0,27	0,11	0,08	0,61	0,16	0,33	0,30	0,26
11	Петропавловский р-н	0,08	0,29	0,08	0,04	0,71	0,11	0,04	0,18	0,76
12	Подгоренский р-н	0,06	0,27	0,03	0,06	0,52	0,06	0,42	0,17	0,69
13	Репьевский р-н	0,06	0,19	0,10	0,07	0,70	0,09	0,19	0,13	0,24
14	Россошанский р-н	0,12	0,27	0,15	0,08	0,59	0,11	0,44	0,16	0,74
15	Хохольский р-н	0,06	0,20	0,03	0,05	0,50	0,08	0,37	0,26	0,40
16	Эртильский р-н	0,24	0,36	0,13	0,05	0,33	0,06	0,39	0,30	0,38

Выводы

Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка оказалось соответствующим требованиям нормативной документации во всех контрольных образцах и в большинстве исследованных образцов почв агроценозов. Выявлено превышение предельно допустимой концентрации подвижных форм меди в образце, отобранном на территории сельскохозяйственного угодья Россошанского района, что может быть связано с недостаточной очисткой выбросов предприятий, расположенных в непосредственной близости. Полученные результаты исследований почв Воронежской области по содержанию тяжелых металлов и мышьяка демонстрируют в целом преимущественно их соответствие требованиям действующих нормативов, что открывает значительные перспективы дальнейшего развития сельскохозяйственной отрасли в регионе.

Список литературы

1. Алексеенко В. А., Алексеенко А. В. Химические элементы в городских почвах. М.: Логос. 2014. 312 с.
2. Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 6. С. 42–47.
3. Гречищева Н. Ю., Ярославцева Н. В., Котельникова А. Д., Остах О. С., Холодов В. А., Заворотный В. Л., Балаба В. И. Мобилизация почвенного органического вещества ультрапресными водами: его моделирование и оценка влияния на подвижность тяжелых металлов // Почвоведение. 2021. № 6. С. 675–685. DOI: 10.31857/S0032180X21060058.
4. Девятова Т. А., Гафар Г. Х. Г. Сорбционная способность почв Ирака к поглощению нефтепродуктов и тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22. № 3. С. 327–334. DOI: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9339.

5. Дьякова Н. А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». 2019. № 95. С. 19–30. EDN: PHZWCV.
6. Дьякова Н. А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж: Цифровая полиграфия. 2022. 264 с.
7. Дьякова Н. А., Епринцев С. А., Клепиков О. В., Виноградов П. М. Эколого-гигиеническая оценка верхних слоев почв антропогенно нарушенных территорий средней полосы России по содержанию подвижных форм тяжелых металлов // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2024. Т. 9, № 2 (36). С. 19–26. DOI: 10.25744/genb.2024.10.32.003.
8. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия Калининградского государственного технического университета. 2020. № 59. С. 61–72. DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72.
9. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гравель И. В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья. М.: РУСАЙНС. 2023. 238 с.
10. Заряева Е. В. Анализ данных регионального мониторинга содержания пестицидов в объектах окружающей среды Воронежской области // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 2. С. 476–478.
11. Копчик С. В., Копчик Г. Н. Оценка современных рисков избыточного накопления тяжелых металлов в почвах на основе концепции критических нагрузок (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 615–630. DOI: 10.31857/S0032180X22050033.
12. Курбаков Д. Н., Кузнецов В. К., Сидорова Е. В., Новикова Н. В., Саруханов А. В., Дементьева Н. В. Содержание тяжелых металлов в почвах агроэкосистем зоны воздействия предприятий Липецкой промышленной агломерации // Экология промышленного производства. 2023. № 2 (122). С. 59–63. DOI: 10.52190/2073-2589_2023_2_59.
13. Куропан С. А., Мамчик Н. П., Клепиков О. В. [и др.] Медико-экологический атлас Воронежской области: монография. Воронеж: ГУП ВО «Воронежская областная типография – издательство им. Е. А. Болховитинова», 2010. 167 с.
14. Лукин С. В. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах и сельскохозяйственных растениях Центрального Черноземья // Почвоведение. 2024. № 10. С. 1414–1423. DOI: 10.31857/S0032180X24100101.
15. Лукин С. В., Жуйков Д. В. Мониторинг содержания марганца, цинка и меди в почвах и растениях Центрально-Черноземного района России // Почвоведение. 2021. № 1. С. 60–69. DOI: 10.31857/S0032180X21010093.
16. Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. Ленинград: Издательство АН СССР, 1963. 264 с.
17. Парамонова Т. А., Черногаева Г. М., Лукьянова Н. Н., Парамонов М. С. Тяжелые металлы в городских почвах Приволжского федерального округа: сопряженный анализ официальных данных // Почвоведение. 2023. № 11. С. 1472–1488. DOI: 10.31857/S0032180X23600300.
18. Постановление от 28.01.2021 г. № 2 об утверждении СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 08.12.2024).
19. Седых В. А. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове города Липецка // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 4. С. 126–130. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2022/4/126-130.
20. Терехова В. А., Прудникова Е. В., Кирюшина А. П., Карпунин М. М., Плеханова И. О., Якименко О. С. Фитотоксичность тяжелых металлов в дерново-

подзолистых почвах разной степени окультуренности // Почвоведение. 2021. № 6. С. 757–768. DOI: 10.31857/S0032180X21060137.

21. Управление Роспотребнадзора по Воронежской области. URL: <http://36.rosпотребнадзор.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 26.11.2024).

22. Чаплыгин В. А., Бурачевская М. В., Минкина Т. М., Манджиева С. С., Сиромля Т. И., Черникова Н. П., Дудникова Т. С. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах и лекарственных растениях импактной зоны Новочеркасской ГРЭС // Почвоведение. 2024. № 10. С. 1424–1438. DOI: 10.31857/S0032180X24100116.

23. Шабаетов В. П., Остроумов В. Е. Почвенно-агрохимические аспекты ремедиации загрязненной никелем почвы при применении ростстимулирующих ризосферных бактерий // Почвоведение. 2023. № 2. С. 226–239. DOI: 10.31857/S0032180X22600925.

24. Cabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th. Boca Raton, FL: CRC Press. 2010. 548 p.

25. Dziubanek C., Baranowska R., Cwieliag-Drabek M., Sychala A., Piekut A., Rusin M., Hajok I. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017. Vol. 142. P. 8–13.

26. Dziubanek C., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2015. Vol. 118. P. 183–189.

Поступила в редакцию 11.03.2025 г.

Dyakova N. A. Content of heavy metals and arsenic in soils of some agroecosystems of Voronezh region. – The paper presents the results of an analytical analysis of the content of some heavy metals and arsenic in the soils of agroecosystems of the Voronezh region. The concentrations of gross and mobile forms of elements were found to meet the requirements of regulatory documentation in most of the soil samples studied. A comparative analysis of the results obtained with clarks of residential soils also indicates the relative ecological well-being of the soils of agroecosystems in the region.

Keywords: soil, agroecosystems, heavy metals, arsenic, gross forms, movable forms, clarks.

Дьякова Нина Алексеевна

доктор фармацевтических наук, доцент,
доцент кафедры фармацевтической технологии
фармацевтического факультета
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет», г. Воронеж, РФ.
E-mail: ninotchka_v89@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0766-3881
AuthorID: 684554

Dyakova Nina Alekseevna

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Pharmaceutical
Technology, Faculty of Pharmacy,
Voronezh State University,
Voronezh, Russian Federation.

© Р. В. Кишкань

О НАХОДКАХ ОБРАЗЦОВ ОТПЕЧАТКОВ КОРЫ И ОБЛИСТВЕННЫХ ВЕТВЕЙ *BOTHRODENDRON PUNCTATUM* LINDLEY ET HUTTON, 1833 В ОТЛОЖЕНИЯХ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА

Филиал «Южный» ФГБУ «ВНИИ Экология» Единого научного центра Минприроды России
Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, пр. Мира, 2Б

Кишкань Р. В. О находках образцов отпечатков коры и облиственных ветвей *Bothrodendron punctatum* Lindley et Hutton, 1833 в отложениях Донецкого бассейна. – В статье представлен обзор рода *Bothrodendron* Lindley et Hutton, 1833, который встречается достаточно редко в угольных отложениях, однако был широко распространен на территории Евро-Американского суперконтинента. Изложены результаты изучения морфологических особенностей древовидного гетероспорового плаунообразного *Bothrodendron*, которые основаны на материалах находок в отложениях среднего карбона, собранных в пределах Донецкого бассейна. Представлен сравнительный анализ структурных характеристик *Bothrodendron* по образцам, идентифицированным как *Bothrodendron punctatum* Lindley J. et Hutton W., 1833 и *Bothrodendron minutifolium* (Boulay) Zeill., 1886 и выдвинуты аргументы в пользу конспецифичности двух упомянутых видов. На основе исследования новых находок и данных литературных источников выдвинуто предположение об особенностях морфогенеза и структуры побеговой системы *Bothrodendron*. Представлены новые морфологические особенности и некоторые морфометрические характеристики *Bothrodendron*, полученные в результате исследования материалов донецких находок из коллекции автора.

Ключевые слова: древовидные плаунообразные, ботродендрон, листовые подушки, веточные рубцы, форма роста.

Введение

В мире существует около десятка так называемых лагерштеттов (Lagerstätte) – мест, чрезвычайно насыщенных окаменелостями исчезнувших с лица Земли видов растений и животных. Одними из наиболее характерных примеров таких местонахождений являются Зольнхофен в Германии, Мазон-Крик в США или сланцы Бёрджес в Канаде. По нашему мнению, Донбасс вполне вписывается в понятие «лагерштетт», учитывая огромное количество окаменелостей, которые можно найти в наших краях просто под ногами. Подавляющее большинство образцов окаменелостей, находимых в Донбассе, имеют отношение к каменноугольному периоду (преимущественно средний и верхний карбон). Среди этих находок особое место занимают древовидные плаунообразные, наиболее известные из которых являются представителями родов лепидодендрон (*Lepidodendron* Sternb., 1820), лепидофлойос (*Lepidophloios* Sternberg, 1825), сигиллярия (*Sigillaria* Brongniart, 1822), ботродендрон (*Bothrodendron* Lindley et Hutton, 1833) и ряда других, менее известных, описанных в последнее время – параликоподиты (*Paralycopodites* E. D. Morey & P. R. Morey, 1977) [1], диафродендрон (*Diaphorodendron* DiMichele, Bateman 1992) [2], хиземодендрон (*Hizemodendron* R. M. Bateman & W. A. DiMichele, 1991) [8]. В этой публикации коснемся описания находок рода *Bothrodendron*, относящегося к классу ископаемых изоэтопсидов (Isoetopsida), на основе имеющихся у нас данных.

В известной опубликованной литературе о ботродендроне (*Bothrodendron*) написано довольно мало сравнительно с другими родами ископаемых плауновидных из каменноугольных отложений. Причины, как нам кажется, легко объяснимы: с одной стороны образцы действительно редко встречаются, с другой – поверхность коры ботродендрона покрыта очень малозаметным орнаментом, а листовые рубцы имеют весьма малый размер и крайне мало заметны на встречающихся при проведении полевых работ образцах.

Подробно история изучения рода *Bothrodendron*, начиная с XIX века, изложена в публикации С. В. Наугольных и Р. В. Кишкань [4]. В этом обзоре остановимся лишь на некоторых из последних публикаций по ботродендрону. Наиболее интересными, на наш взгляд, являются следующие публикации, описывающие: образцы коры ботродендрона из Иллинойса, США [15], мегагаметофит ботродендростробуса [26], онтогенез и палеоэкологию ботродендрона из Пенсильвании [32], канадскую находку облиственной ветви ботродендрона [30]. К этим публикациям мы вернемся в ходе описания донецких находок. Для понимания эволюционных изменений плауновидных в филогенетическом контексте и учета принципов общей для них системы формирования формы роста считаем принципиально важной работу Ричарда Бэйтмена [8].

Что на сегодня принято считать верным описанием рода ботродендрон? Род древовидных плаунообразных, высотой до 25 метров с диаметром ствола в прикорневой зоне до 60–70 см [5]. На стволе не имеется листовых подушек, как у лепидодендрона, а лишь листовые рубцы, располагающиеся по восходящей филлотаксической спирали, либо листовые следы. Вторичный рост листовых рубцов, заключающийся в образовании перидермы, заканчивается иногда уже после формирования отделительного слоя или даже после опадения листа, но еще до того, как заканчивается вторичный рост ствола и побегов, что приводит к сбрасыванию листовых рубцов, т. е. при расширении диаметра ствола и побегов опробковевшие ткани разрываются и отслаиваются, а на месте рубцов остается лишь листовый след.

Отличием ботродендронов также является наличие латеральных ветвей, располагающихся на диаметрально противоположных сторонах ствола, которые, отпадая, оставляют характерные веточные рубцы овальной формы (так называемые «улодендрониды»). В ювенильной стадии роста дерево достигает высоты как минимум в 5 м, прежде чем проявляется первое разделение апекса, и соответственно, первая ветка. Таким образом, базальная часть ствола до высоты пять метров не содержит улодендронидных веточных рубцов. Верхняя часть ствола, несущая как боковые ветви, так и следы отпавших ветвей (веточные рубцы) достигает размеров 15–20 м. Максимальный размер ветви – до 1 м в длину, диаметр ветви – до 50 мм. Ветвь, многократно дихотомирующая, тонкие побеги являются облиственными, на концах могут быть спороносные шишки [32].

В Донецке в пределах городской черты расположены около 150 породных отвалов (терриконов). Это огромная масса осадочных пород каменноугольного периода, разделяющая угольные пласты, уже вынутая на земную поверхность и ожидающая прихода исследователей. На одном из терриконов были найдены образцы отпечатков коры и облиственных ветвей ботродендрона (*Bothrodendron*).

Цель работы – проведение сравнительного анализа структурных особенностей *Bothrodendron punctatum* Lindley J. et Hutton W., 1833 и *Bothrodendron minutifolium* (Boulay) Zeill. 1886 и реконструкция отдельных морфологических элементов, формы роста и строения побеговой системы на основе литературных данных и результатов исследования материалов донецких находок.

Материал и методы исследования

Место нахождения. Средний отдел карбона (C_2) в Донбассе представлен башкирским и московским ярусами, граница между которыми вводится по известняку K_3 . Отложения среднего карбона согласно продолжают разрез нижнего карбона и представлены преимущественно терригенными породами. Общая мощность резко изменяется от 1 500 м в районе г. Курахово до 4 500 м в восточной части Торезско-Снежнянского района. Стратиграфическая колонка показана на рис. 1.

Башкирский ярус. Стратотип башкирского яруса находится в Донбассе – это толща от известняка F_1 до известняка K_3 , т. е. свиты $C^1_2(F_1)$, $C^2_2(G)$, $C^3_2(H)$, $C^4_2(I)$, нижняя часть свиты $C^5_2(K)$ до известняка K_3 . Нижняя граница его является одновременно и верхней границей

Серпуховского яруса, и границей между нижним и средним отделами карбона, верхняя определяется палеонтологически, по относительно резкому обновлению фауны и флоры.

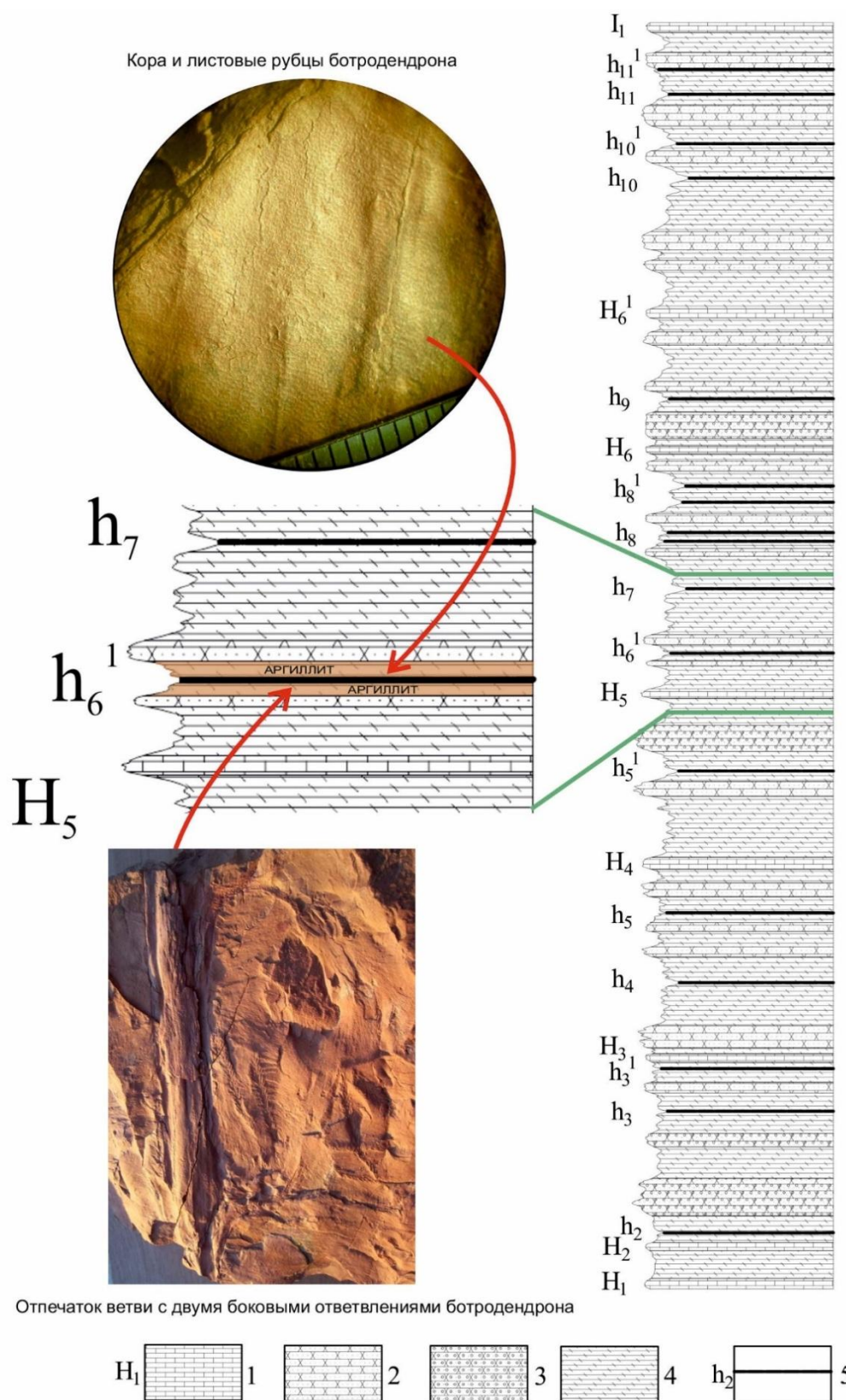


Рис. 1. Стратиграфическая колонка Смоляниновской свиты C₂³ (составлена С. Выборовым):
 1 – пласты известняка и их индекс; 2 – пласты песчаника; 3 – пласты гравелистого песчаника;
 4 – пласты аргиллитов и алевролитов в разной степени рсланцованных; 5 – пласты угля и их индекс

Обсуждаемые в статье находки отпечатков ботродендрона стратиграфически относятся к Смоляниновской свите C_2^3 Башкирского яруса среднего карбона. Характеристика пласта угля h_6^1 , которую дает «Геолого-химическая карта Донецкого бассейна»: «Кровля – глинистый сланец, сухой, устойчивый; контакт отчетливый и резкий. Уголь блестящий, однородный плотный, в средней части загрязнен глинистым веществом на плоскостях напластования, по всей пачке – частые овальные пленки пирита диаметром до 2–3 мм. Почва – песчаный сланец, контакт – резкий» [2].

Свита C_2^3 – Смоляниновская (стратиграфическая колонка показана на рис. 1) в нижней части отличается тем, что между известняками H_1 и H_3 выделяются два мощных (20–65 м) пласта грубозернистого песчаника, маломощный слой известняка H_2 , а также серия пластов и пропластков угля h_2, h_3, h_3^1 .

Выше до известняка H_5 залегает непостоянная по своему составу толща, которая включает несколько пластов разномзернистых и грубозернистых песчаников, разделенных между собой рассланцованными аргиллитами, в меньшей степени алевролитами, и пласты угля h_4, h_5 и h_5^1 . Считается, что по пласту известняка H_5 свита делится на две подсвиты нижнюю C_2^{3a} и верхнюю C_2^{3b} [1].

Верхняя часть свиты включает три пласта известняка H_5, H_6 и H_6^1 . Между известняками H_6 и H_6^1 залегает выдержанный по простиранию и мощности (40–80 м) пласт грубозернистого песчаника. Кроме этого, в этой части свиты выделяются еще несколько пластов разномзернистых песчаников, разделенных слоями в разной степени рассланцованных аргиллитов и алевролитов, включающих пласты и серии сближенных пластов угля $h_6^1, h_7, h_8, h_8^1, h_9, h_{10}, h_{10}^1, h_{11}$ и h_{11}^1 .

Отложения смоляниновской свиты перекрываются пластом известняка I_1 белокалитвенской свиты C_2^4 [1]. Общая мощность свиты возрастает с севера (629 м) на юг (1 024 м) и с запада (620 м) на восток (1 491 м).

Находки были обнаружены в поднятой на поверхность в период эксплуатации шахты осадочной породе, окаймлявшей пласт h_6^1 (C_2^3 , ориентировочный возраст 318–320 млн. лет), которая складывается аргиллитами, алевролитами и песчаниками с рабочими пластами углей, и прослоями известняка, на месте размещения породного отвала шахты им. Шверника (Донецк), место нахождения показано на рис. 2, а.

Смоляниновский пласт, открытый французом Ле Пле в 1837 году, считался лучшим в Донбассе – не случайно его уголь был премирован на одной из Всероссийских ярмарок. Великолепные коксующиеся угли были необходимы валлийскому промышленнику и основателю города Донецка Джону Юзу для начала дела – и он их получил на землях дворянина Алексея Смолянинова. Не было бы пласта – скорее всего, не было бы и города Донецка [6].

Результаты исследований и их обсуждение

О видовом различии *Bothrodendron punctatum* и *Bothrodendron minutifolium*

По мнению ряда палеоботаников в среднем карбоне существовали два вида ботродендронов: *Bothrodendron punctatum* Lindley J. et Hutton W., 1833 и *Bothrodendron minutifolium* (Boulay) Zeill., 1886. По мнению К. Внака [32] это разные виды растения. В то же время, Р. Ренье [25], М. Линдси [18], Р. Круколл [10] и Ф. Джонкер [16] считали, что *Bothrodendron minutifolium* является всего лишь облиственными ветвями *Bothrodendron punctatum*, что, вообще говоря, следует из части названия вида *minutifolium* – мелколиственный, поскольку *Bothrodendron minutifolium* был изначально описан из находок тонких облиственных побегов растения. Были и другие аргументы в пользу конспецифичности двух упомянутых видов, в частности исследования М. Д. Залесского [33] и известного английского палеоботаника Б. Томаса [28] демонстрировали, что перидермальные структуры *Bothrodendron minutifolium* идентичны структурам *Bothrodendron*

punctatum. Просматривая статью Б. Томаса, мы обратили внимание на выделяемые им морфологические различия между двумя видами ботродендронов среднего карбона.



Рис. 2. Географическое положение изучаемой территории и образцы коры ботродендрона:
 а – Н–М – известняковые индексы, звездочкой обозначено место нахождения; б – кора *Bothrodendron minutifolium*; в – кора *Bothrodendron punctatum*. Масштабная линейка 1 мм. Красные пунктирные кольца – листовые рубцы, желтые пунктирные кольца – ямки лигулы

Первое – на поверхности коры ствола *Bothrodendron punctatum*, разделяющей листовые рубцы, видны хорошо различимые вертикальные бороздки. В то время, как для *Bothrodendron minutifolium* – характерны горизонтальные. Второе – ямка лигулы вплотную примыкает к листовому рубцу у *Bothrodendron punctatum*, а у *Bothrodendron minutifolium* она отстоит на расстоянии 0,5–1,5 мм. Кроме того, листья у первого вида более тонкие и плотнее прилегающие к стеблям, а у второго – более округлые и топорчатся. Кстати, в 30-е годы прошлого столетия М. Д. Залесский [33] изучал каменноугольные ископаемые плауновидных Донбасса, и им были найдены оба из характерных для среднего карбона вида ботродендронов – *Bothrodendron punctatum* и *Bothrodendron minutifolium* [20, таб. XVII, фиг. 3–6]. Н. С. Снигиревская [7] также упоминает о находке образца *Bothrodendron punctatum* в Донбассе.

Хотя в собранной нами коллекции есть образцы отпечатков коры, которые выглядят как *Bothrodendron minutifolium* и *Bothrodendron punctatum* (рис. 2 б, в, мы не можем уверенно отличить их друг от друга. Поэтому все образцы, которые мы собрали, включая отпечатки стебля, изолированные фрагменты коры или облиственные побеги, были идентифицированы как *Bothrodendron punctatum*.

Разбирая и изучая наши находки, мы пришли к выводу, что реальных межвидовых различий между ними, которые бы проявлялись на коре или листовых рубцах, в явном виде не обнаруживается. И здесь, очевидно, делать выводы о видовом различии, не имея образцов с анатомической сохранностью, а опираясь только на отпечатки, практически невозможно. По мнению доктора Уильяма ДиМайкла (William A. DiMichele) (из личных сообщений), это можно объяснить специфической средой роста *Bothrodendron*. Существует ряд ликоподиопсид, включая *Bothrodendron*, которые, похоже, обитали только в силицикластических (кремнисто-обломочных) болотах, никогда не встречаясь на торфяных субстратах, поэтому в распоряжении у автора публикации есть пока только образцы в виде компрессионных ископаемых (отпечатков формы). Тем не менее, нами был проведен следующий анализ имеющихся образцов коры. На рис. 3 показана диаграмма, отражающая зависимость листового междурубцового расстояния к диаметру ветви для трех категорий внешнего вида коры из нашей коллекции. Первая – с вертикальным расположением бороздок, вторая – с горизонтальным расположением бороздок и третья – когда имеется однородный орнамент, без четкой ориентации.

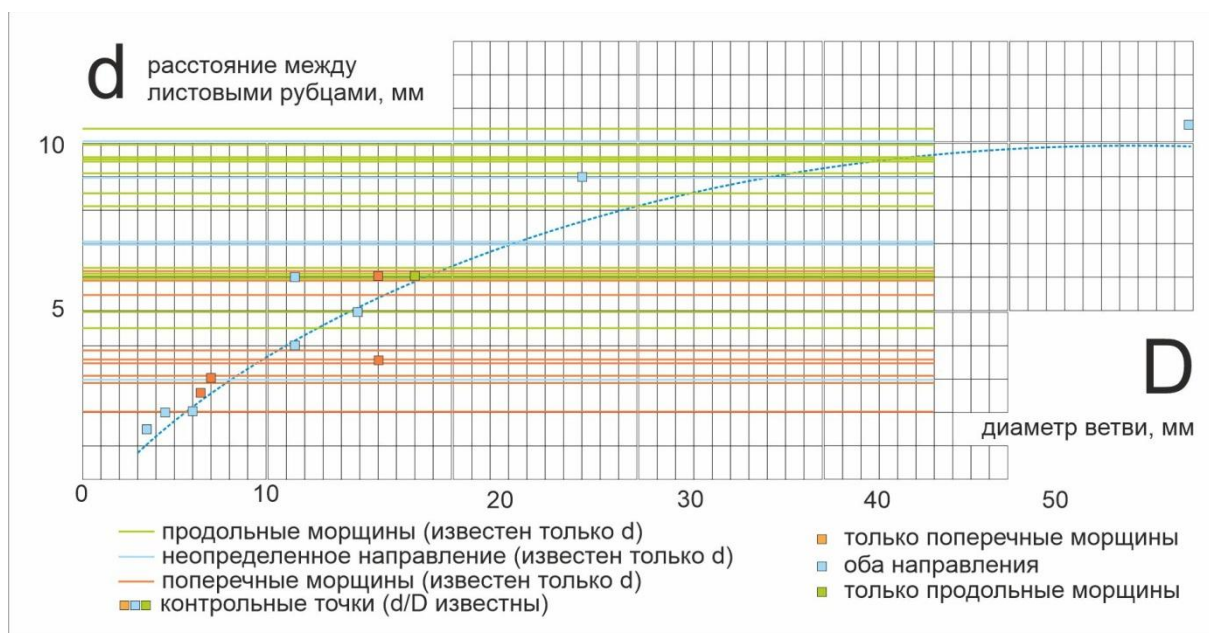


Рис. 3. Корреляция расстояния между соседними в филотаксической спирали листовыми рубцами и диаметром ветки на основе образцов из нашей коллекции

Далее нами были проверены утверждения Б. Томаса [28] о том, что для *Bothrodendron minutifolium* характерна продольная (вдоль оси ствола) морщинистость коры, а для *Bothrodendron punctatum* – поперечная. Проверка заключалась в том, что были рассмотрены более трех десятков образцов коры трех вышеуказанных категорий, и установлена эмпирическая связь расстояния между соседними в филотаксической спирали листовыми рубцами и диаметром ветви (конечно, очень приблизительную). Естественно, нами была пересчитана видимая ширина ветви, сплюсненной миллионами лет до абсолютно плоского состояния, в реально существовавший диаметр (приблизительно 60 % от видимой ширины). И уже затем, подобно эмпирическим соотношениям из работы К. Внака [32], был построен график зависимости листового межрубцевого расстояния от диаметра ветви. На диаграмме (рис. 3) также горизонтальными цветными линиями, отражающими ориентацию орнамента на коре, показаны и другие известные по имеющимся образцам межрубцевые расстояния (d). Как нетрудно заметить, наиболее часто встречались расстояния между листовыми рубцами в районе 7,5 мм, не было обнаружено ни единого образца с горизонтальной ориентацией бороздок и расстоянием между рубцами, превышающем 7,5 мм, что соответствует диаметру ветви около 20 мм. Расстояния, превышающие 7,5 мм, соответствовали образцам с вертикальной (продольной) ориентацией бороздок. С другой стороны, основная масса образцов с вертикальной ориентацией бороздок имеет межрубцевое расстояние 8–11 мм, что соответствует диапазону диаметров 41–58 мм, т. е. относительно более толстым ветвям. Образцы с отсутствием какой-либо ориентации встречались во всем размерном диапазоне. При этом следует отметить, что все образцы, за исключением одного, имели лигулу, расположенную выше листового рубца, а не на его периферии, как у *Bothrodendron punctatum* в интерпретации Б. Томаса [28]. Таким образом, можно предположить, что поперечная морщинистость характерна для более тонких ветвей (идет преимущественно быстрое увеличение длины ствола), а продольная – для более толстых (идет преимущественно увеличение диаметра ствола) одного и того же вида. Именно по этой причине, как уже упоминалось выше, наши образцы были идентифицированы как *Bothrodendron punctatum* Lindley J. et Hutton W., 1833.

Судя по этой диаграмме, смена направления морщинок происходила в диапазоне диаметров ветвей около 15–20 мм, что соответствует расстоянию между рубцами 5–7 мм. Поскольку достаточно много фрагментов коры, по которым диаметр установить невозможно, однако видимые размеры фрагмента значительно превосходят имеющиеся в наличии диаметры, а расстояние между рубцами практически нигде не превышает 10 мм, то напрашивается мысль, что 10–11 мм – это предел, после которого увеличение расстояния уже не происходит. Причина пока не ясна.

И еще одно специфическое наблюдение. В коллекции донецких находок есть фрагмент тонкого ствола (или ветви) с малым веточным рубцом, на котором даже частично сохранилось основание тонкой ветви (рис. 4). Обращают на себя внимание странные ряды листовых рубцов, расположенные поперек оси ветви, в непосредственной близости от веточного рубца (выделено цветными линиями), которые вообще-то должны располагаться по спирали (филлотаксис). Похоже, что поверхность стволов у веточных рубцов меняла орнаментацию, и сокращались расстояния между листовыми рубцами, независимо от диаметра. В данном случае расстояние составляет всего 3 мм. Расположение листовых рубцов на этом образце отличается от классического спирального. Рубцы явно сгущаются к вертикальной оси, на которой располагается веточный рубец. Уменьшается также расстояние между рядами листовых рубцов в направлении веточного рубца. Таким образом, наличие веточного рубца на стволе полностью ломает модель зависимости расстояния между листовыми рубцами и диаметром ветви К. Внака [32]. С другой стороны, напрашивается вывод, что латеральная ветвь проросла сквозь уже сформировавшуюся филотаксическую структуру коры ствола или ветви более высокого порядка, деформируя орнамент на участках, прилегающих к появившейся ветви, т. е. имеем моноподиальный тип ветвления.

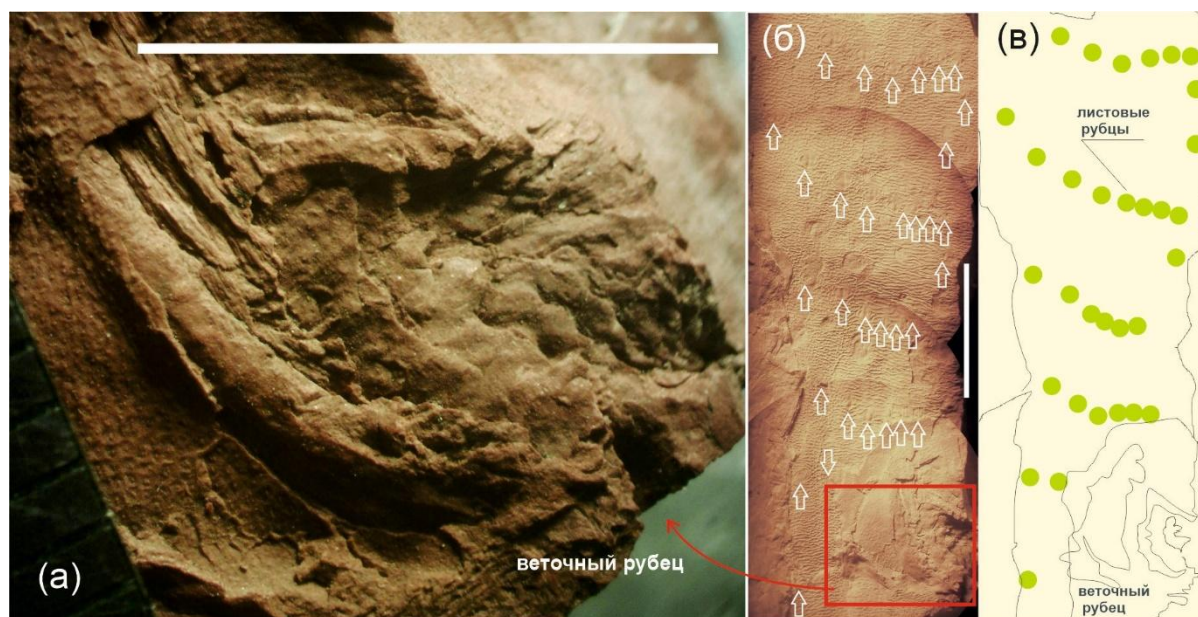


Рис. 4. Малый веточный рубец:

а – увеличенное изображение веточного рубца; б – фрагмент тонкой ветви с малым веточным рубцом, на котором частично сохранилось основание более тонкого ответвления; в – схема расположения листовых рубцов на этой ветви. Масштабная линейка 10 мм

О форме роста ботродендрона

На сегодня в научной литературе крайне мало публикаций с описанием начальной стадии развития какого бы то ни было древовидного плауновидного.

Том Филлипс и Уильям ДиМайкл [21] предположили, что ризоморфная система и ствол растения на начальной стадии развития формируются медленно, достигая почти полного объема перед наступлением периода исключительно быстрого роста и достижения репродуктивной зрелости. Тем не менее, эта модель чаще более применима к семейству *Lepidodendraceae*, нежели *Diaphorodendraceae*, которое демонстрирует некоторые особенности, предполагающие более продолжительное существование растения, в частности: наличие множества облиственных латеральных ветвей; ясное свидетельство отшелушивания или сбрасывания верхнего слоя коры и тканей, несущих листовые подушки в базальной части ствола; большой размер растений, вероятно, превышающих 30 м в высоту; производство множества латеральных ветвей, которые обеспечивают на какое-то время интенсивное воспроизводство; а также продолжение воспроизводства латеральных ветвей в дихотомированной кроне, что показывает финальную стадию онтогенеза растения [21].

Несколько работ англо-американских палеоботаников, посвященных онтогенезу плауновидных, подтолкнули автора к следующему пониманию габитуса всего растения и роли латеральных ветвей. По мнению автора, для древовидных плаунообразных характерны два механизма ветвления: моноподиальный при котором формируется вертикальная ось ствола, а по обе стороны оси из боковых почек возникают латеральные ветви и дихотомический (возможно, псевдомоноподиальный или дихоподиальный), который характерен для латеральных ветвей, причем латеральные ветви демонстрируют хорошо выраженное анизотомическое (псевдомоноподиальное) ветвление.

Проводя аналогии с другими древовидными плаунообразными, отметим, что, начиная с анабаты (*Anabathra*) и заканчивая диафородендром (*Diaphorodendron*), на стволе имеются боковые ветви, несущие стробилы, а в конце развития происходит дихотомическое разветвление ствола (главная вилка) и формируется крона. Боковых ответвлений на стволе нет только у сигиллярии (*Sigillaria*), лепидофлойоса (*Lepidophloios*) и истинных лепидодендронов (*True Lepidodendron*). Особенно красноречиво это показано в статье У. ДиМайкла для родственного диафородендрону синхисидендрона (*Synchysidendron* W. A. DiMichele & R. M. Bateman, 1992) [2]. По его мнению, боковые побеги, предназначение

которых – фотосинтез и плодоношение, как на вертикальной оси, так и внутри кроны образуются путем псевдомоноподиального ветвления. Этот процесс полностью совпадает с описанием формирования габитуса у *Lepidodendron mannebachense* Presl, 1838, приведенным С. Оплуштил [19], за исключением того, что у истинного лепидодендрона нет боковых ветвей на стволе. Т. е. Оплуштил [19] считает, что псевдомоноподиальное ветвление характерно для формирования побегов, несущих стробилы. Именно поэтому на втором из образцов ботродендрона, описанных М. Линдси [18], было 5 чередующихся анизотомных ответвлений, которые в дальнейшем ветвились исключительно изотомно. Два таких побега есть и на одном из образцов в коллекции автора. Кстати, К. Внак [32] предложил свой вариант реконструкции формы габитуса ботродендрона, полагаясь на образец Линдси, который он подробно описывает в своей публикации. Однако, Линдси считала, что это верхушка дерева, а по мнению автора – это псевдомоноподиально ветвящаяся латеральная ветвь, несущая стробилы, т. е. одна из многих. В одной из своих недавних работ У. ДиМайкл [13] не дает четкого пояснения феномена боковых ветвей на стволе плауновидных, называя его главной загадкой публикации. Он считает, что их присутствие у синкисидендрона (*Synchysidendron*) отражает некую переходную стадию развития от моноподиального, как у астероксилон (*Asteroxylon*), к дихотомическому формированию кроны, как у истинного лепидодендрона (*True Lepidodendron* – термин по У. ДиМайклу).

Подытоживая тему формы роста наиболее развитых древовидных плаунообразных – сначала формируется столбик без ветвей, который опирается на уже хорошо развитую систему стигмариий. Далее сценарии могут разниться. Нас интересует случай, когда по достижении фертильного возраста начинают появляться латеральные ветви, несущие облиственные побеги и побеги со стробилами, судя по всему, попарно (слева–справа). В определенный момент запускается механизм формирования кроны, т. е. формируется на стволе главная вилка (дихотомия) и затем дихотомически образуется крона типа зонт. В самой кроне работает псевдомоноподидальный механизм формирования побегов, несущих стробилы. Вполне возможно, что у ботродендрона крона и не формировалась полностью в форме зонта, а просто появлялась слабо развитая главная вилка на вершине ствола, подобно тому, как это происходит у анабаты (*Anabathra*).

Трудно сказать, разветвлялась ли верхушка ствола ботродендрона вообще, поскольку нам не известны какие бы то ни было сообщения о находке «главной дихотомической вилки» ботродендрона (т. е. первой дихотомии ствола) которая, соответственно, формирует развитую крону, как у Хирмера [14]. Не ясно также, появлялись ли в кроне ботродендрона латеральные ветви, как у синкисидендрона [2], если крона все же формировалась. Как ранее упоминал автор данной публикации, возможно, он вообще обладал смешанной системой ветвления. Развивая тему габитуса ботродендрона, изложенную в нашей предыдущей публикации [4], можно предположить, что форма роста была в чем-то сходной с *Sublepidodendron songziense*, показанной китайскими палеонтологами [24], с тем только дополнением, что латеральные побеги могли ветвиться как изотомически, так и анизотомически. Еще один пример возможного подобия формы роста ботродендрона можно увидеть в публикации этих же авторов [23], описывающей позднедевонское растение лептофлоеум ромбикум (*Leptophloeum rhombicum* Dawson, 1862). Таким образом, «мохнатый столбик» ювенильной фазы развития в какой-то момент после формирования стигмариийной системы начинают дополнять латеральные ветви, несущие спороносные шишки, на конечной стадии развития верхушка дерева образует слабо развитую дихотомическую вилку.

Эти предположения, строго говоря, не основаны на строгих фактах и, скорее, имеют интуитивную основу.

О латеральных ветвях ботродендрона

Как мы отмечали ранее [4] палеоботаники потратили немало времени на дискуссии относительно роли овальных улодендронидных веточных рубцов на поверхности стволов ботродендрона и некоторых видов древовидных плаунообразных [31]. Выдвигавшиеся версии были следующими: следы опадающих ветвей [16, 18, 25, 31] или стробилов и их

агрегированных собраний [17]. Сегодня преобладает мнение о том, что эти рубцы – следы опавших веток, которое особо укрепилось после того, как М. Линдси [18] описала два новых образца *Bothrodendron minutifolium*. Один из них представлял собой короткий ствол, на котором были размещены множество дихотомирующих облиственных побегов, имевших четко очерченные основания в форме раструбов, второй представлял собой основной ствол с присоединенной облиственной веткой, имевшей подобно первому основание в форме раструба. Б. Томас с соавторами [29] полагает, эти образцы демонстрировали, что относительно короткие ветви ботродендрона сбрасывались в определенный момент развития растения. Образец *Bothrodendron punctatum*, описанный в настоящей публикации, по нашему мнению, подобен второму из найденных М. Линдси образцов *Bothrodendron minutifolium* (рис. 5, б). По сути, наличие облиственных ветвей с таким основанием должно, в конечном счете, привести к их сбрасыванию и образованию улодендронидных веточных рубцов.

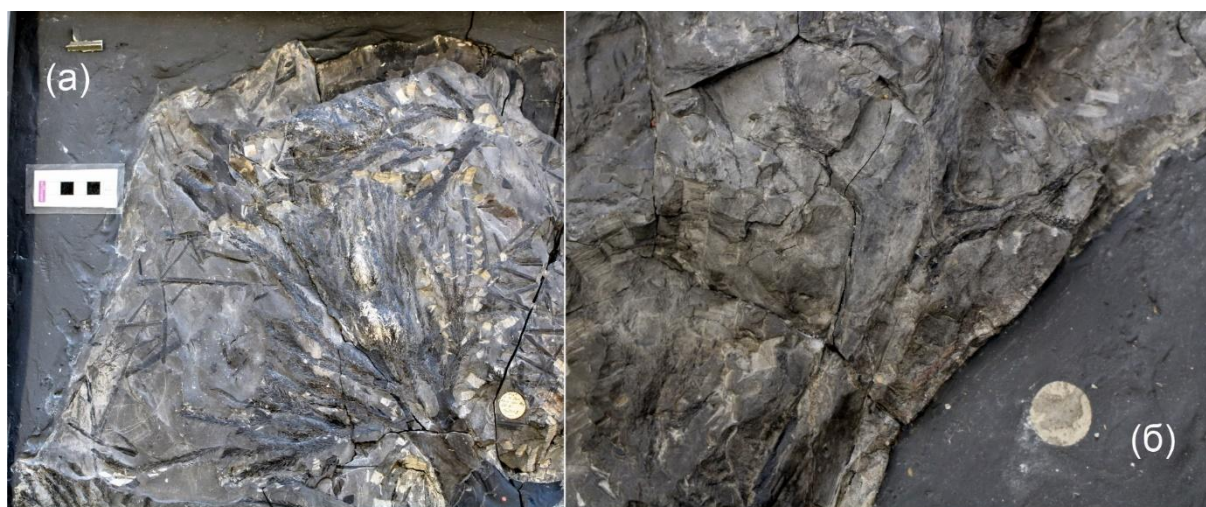


Рис. 5. Образцы находок Линдси (Lindsey M., 1915) из Манчестерского музея:
а – отпечаток дихотомирующей ветви, б – отпечаток ветви с ответвлениями

Публикация М. Линдси [18] существенно повлияла на представление автора настоящей публикации о форме роста ботродендрона, окончательный вид которой не установлен до настоящего времени. Автор, стремясь получше разобраться в образцах, описанных М. Линдси в далеком 1915 году, сумел получить четкие фото этих двух образцов (рис. 5), которые хранятся в запасниках Музея в Манчестере и выражает благодарность Дэвиду Гелсторпу (David Gelsthorpe), куратору отдела наук о Земле Манчестерского музея, который любезно согласился их прислать.

По известным образцам, описываемым в зарубежной литературе, и анализу имеющегося материала палеоботаники смогли установить четко проявляющиеся зависимости между диаметром ствола и площадью веточного рубца (чем выше, тем меньше), диаметром ствола и расстоянием между последовательно расположенными ветвями, уменьшающимся с высотой [32], диаметром ствола и расстоянием между листовыми рубцами, увеличивающимся пропорционально росту толщины стебля [30].

Нам посчастливилось найти на описываемом местонахождении в Донецке несколько достаточно крупных образцов с отпечатками коры, тонких облиственных побегов и даже латеральной ветви с фрагментами двух присоединенных облиственных ветвей более высокого порядка. Эта находка была весьма схожей с образцом, описанным в публикации М. Линдси [18].

Общая длина фрагмента ветви составляла 22 см, расстояние между осями присоединенных ветвей – 150 мм. Ось главной ветви имеет диаметр около 40 мм, а диаметры ветвей более высокого порядка составляют от 8 до 10 мм в сжатом виде, на рис. 6, г.

Расстояние между листовыми рубцами на стволе этого образца составляло в среднем 3,6 мм. Изображение этого отпечатка латеральной ветви, а также укрупненные изображения мест присоединения ветвей второго порядка показаны на рис. 6, а–в. Листовые рубцы на листовых подушках, расположенные на раструбе прикрепления ветви более высокого порядка к основной оси показаны на рис. 6, г. Примеры анизотомного и изотомного ветвления латеральных ветвей из коллекции автора показаны на рис. 7.

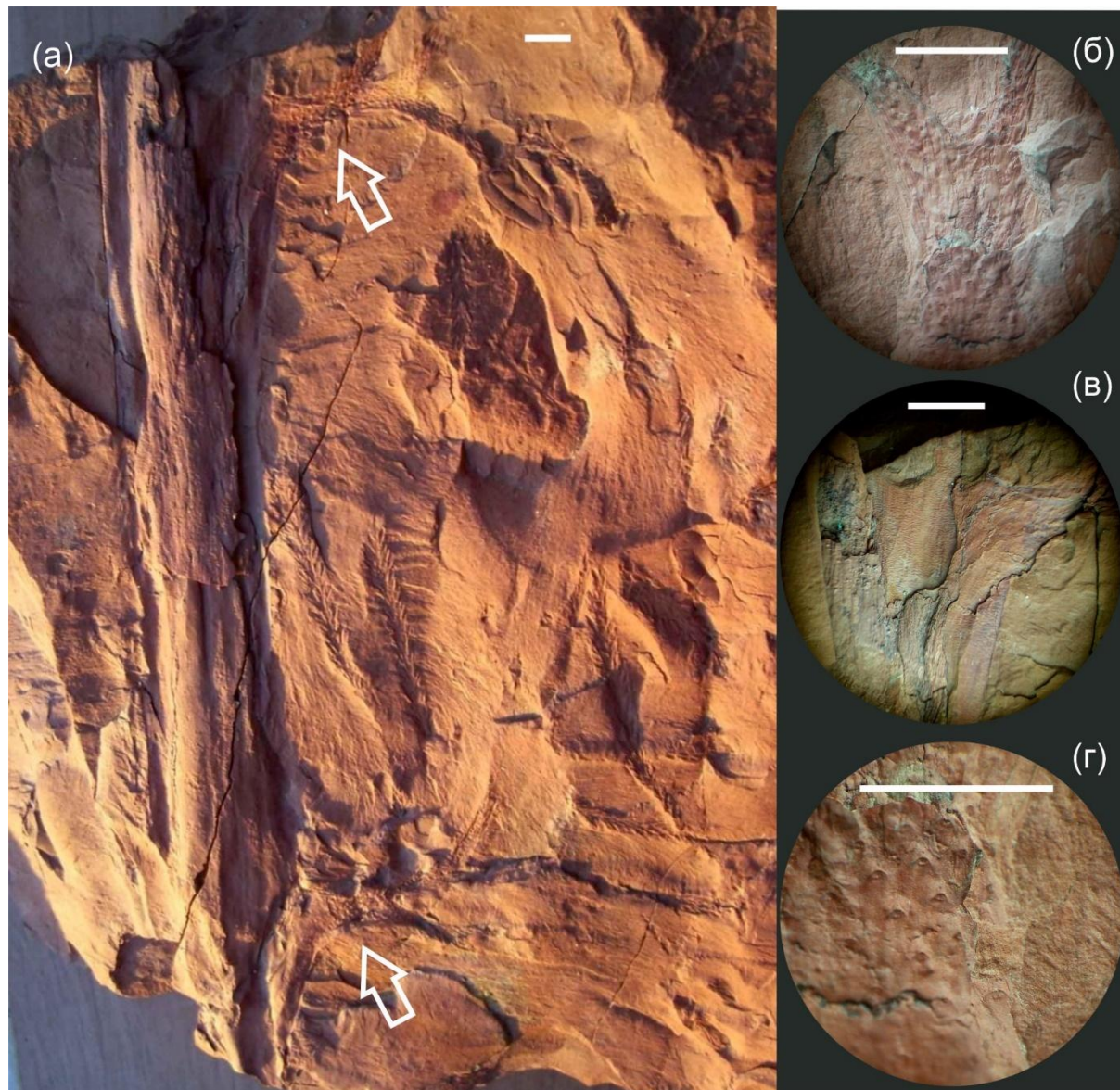


Рис. 6. Образец ветви ботродендрона с двумя ответвлениями:

а – ветвь *Bothrodendron* с двумя прикрепленными ответвлениями (масштабная линейка – 10 мм); б–в – детали ответвлений с листовыми рубцами (масштабная линейка 10 мм); г – детали листовых подушек у основания раструба (масштабная линейка 10 мм)

Почему веточные рубцы на стволе расположены так близко друг от друга? Судя по образцам, исследованным К. Внаком [32], на некоторых из них ряды в 10 и более веточных рубцов, которые разделяют 5–8 см. Напрашивается вывод, что период вегетации ботродендрона был разделен на ступени, пара веток с противоположных сторон ствола на каждую ступень. Иными словами, на стволе стартовали пары веток, полностью вырастали, выбрасывали шишки и отпадали. Затем, следующая пара, чуть выше и т. д. Почему парно, тоже понятно, для сохранения баланса, чтобы не отклонять главную ось от вертикали. При этом понятно, что при таком способе плодоношения не происходит затенения ниже

расположенных ветвей верхними. Кстати, функция сбрасывания веток при определенных условиях с образованием веточного рубца сохранилась в ходе эволюции и у некоторых современных деревьев, например, у тополя (рис. 8).

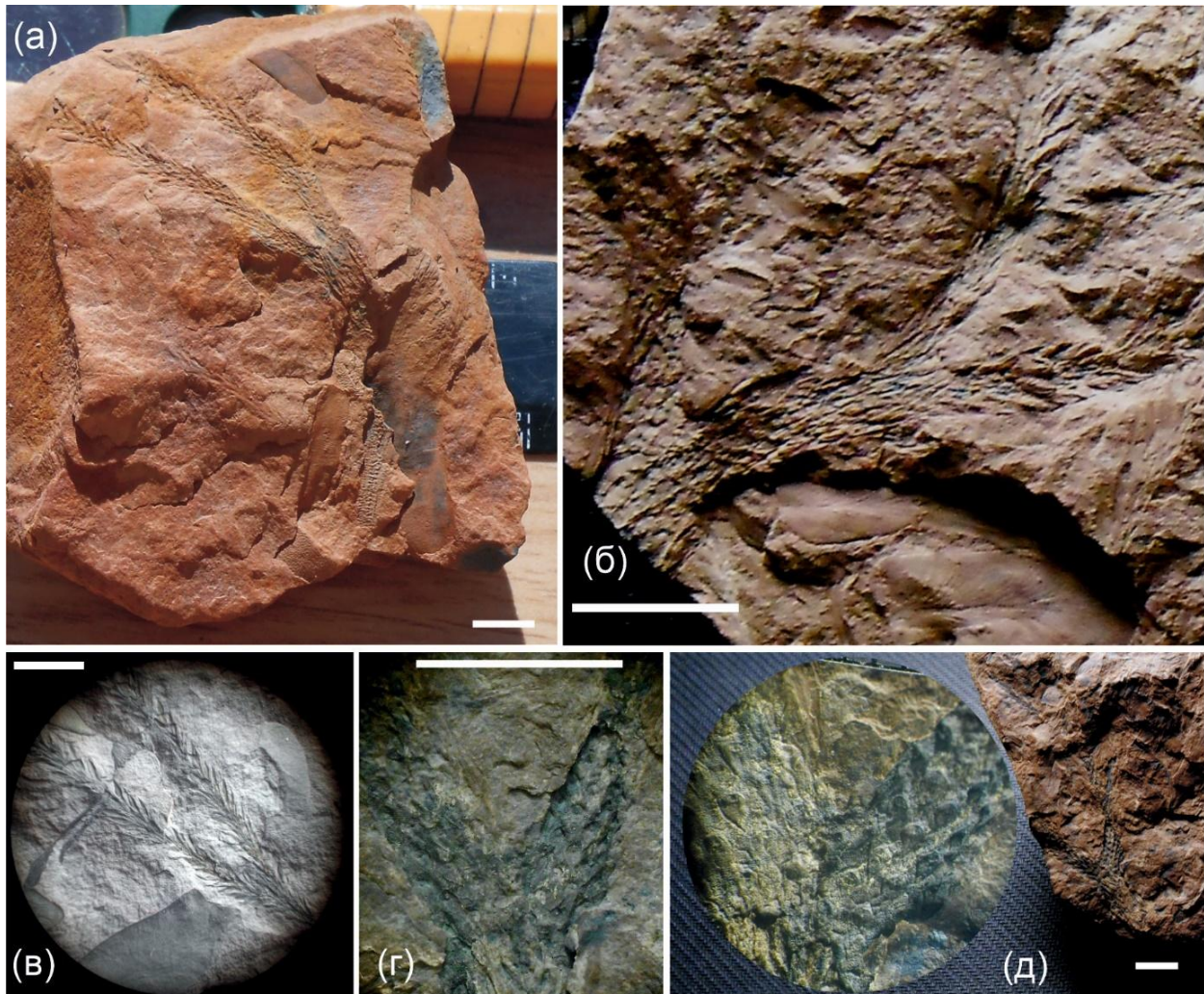


Рис. 7. Примеры типов ветвления ботродендрона:

а – анизотомическая ветвь ботродендрона из коллекции автора; б-д – изотомический тип ветвления из коллекции автора, масштабная линейка 10 мм



Рис. 8. Сброшенная ветка тополя, виден раструб в точке присоединения и поверхность отрыва

Вторым сложным вопросом, связанным с боковыми (латеральными) ветвями, является их «серийный», запуск. Зачем они располагаются на стволе столь плотно, иногда смежно, диаметрально противоположными вертикальными рядами? В чем заключен биологический смысл такой стратегии? Ответа пока нет.

Чтобы описать тип ветвления с образованием латеральных ветвей для *Bothrodendron*, основываясь на образце с двумя анизотомными ответвлениями, мы используем модель ветвления *Diaphorodendron*, описанную У. ДиМайклом и Р. Бэйтменом [2]. Мы считаем, что главная ось на этом образце является результатом монопоидального типа ветвления (из боковой почки на стволе), а две боковые оси – ветвятся строго дихотомически. Таким образом, можно предположить, что образец, показанный на рис. 6, подтверждает тот факт, что *Bothrodendron* имел комбинацию двух типов ветвления, как монопоидального, так и дихотомического. Предположительно, такие ветви могли нести как вегетативные, так и фертильные терминальные побеги.

Веточные рубцы и листовые подушки ботродендрона

Наличие улодендроидных веточных рубцов, окруженных хорошо сохранившейся корой с отчетливыми листовыми рубцами и «шагреновой» (термин С. Наугольных) скульптурой, ясно указывает на то, что латеральные ветви, прикрепленные к стволу *Bothrodendron* в местах этих рубцов, функционировали, очевидно, относительно короткое время, а затем сбрасывались. Веточные рубцы древовидных плаунообразных (точнее определить нет возможности), вернее их фрагменты, найденные на описываемом местонахождении, представлены на рис. 9.



Рис. 9. Улодендроидные веточные рубцы ликопсидов из коллекции автора (невозможно определить, принадлежат ли они ботродендрону, но являются образцами, характерными для вымерших древовидных плаунообразных)

Наша коллекция включает как образцы стеблей *Bothrodendron* с большими по размеру улодендроидными веточными рубцами, так и с меньшими (до 10 мм, рис. 10). Имеющийся материал позволяет предположить, что морфологическое разнообразие архитектурных компонентов *Bothrodendron* было гораздо шире, чем это предполагается в данный момент. Некоторые примеры показаны ниже.

Сначала обратимся к некоторым утверждениям авторов в более ранних публикациях. В публикации Б. Томаса [28] говорится о листовых подушках ботродендрона на молодых побегах и их отсутствии на стволах. В публикации Б. Томаса и С. В. Мейена [29] ботродендрон описан как формальный род, не имеющий листовых подушек на стволе, с листовыми рубцами, располагающимися на стволе в спиральном филлотаксисе, подобно лепидодендрону. Листовой рубец содержит парихны. Над рубцом (или на его верхней границе) располагается

четко выраженная лигульная ямка. Так располагаются на коре ботродендрона или нет листовые подушки?

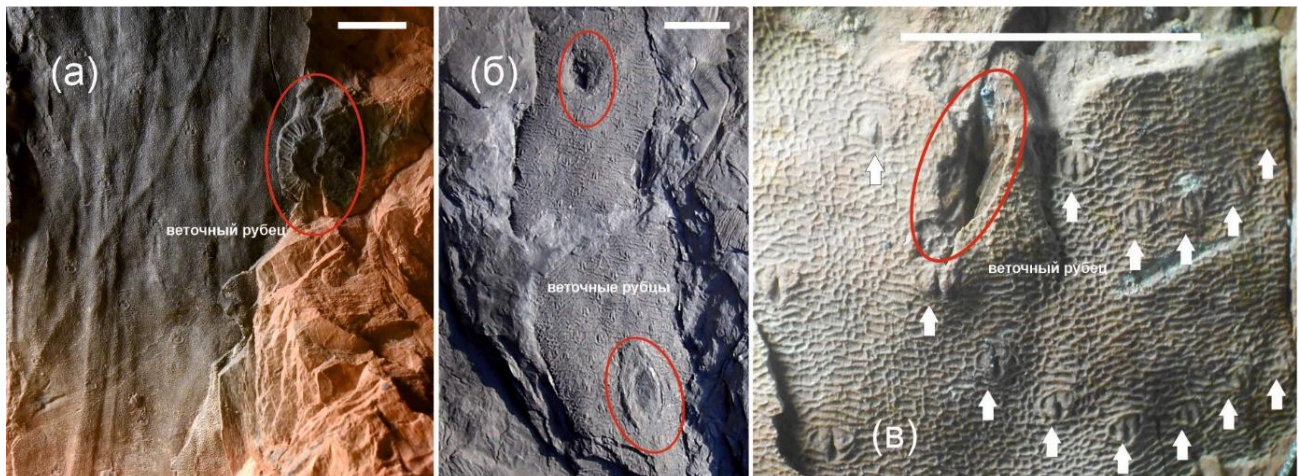


Рис. 10. Примеры малых веточных рубцов:

а, б – веточные рубцы малого диаметра (в красных окружностях), в – листовые рубцы вокруг веточного рубца, смещающиеся от стандартной филлотаксической спирали. Масштабная линейка 10 мм

Как известно, листовые рубцы ботродендрона, на тонких ветвях располагаются на веретеновидных выступах и напоминают таковые у *Lepidodendron*, при этом продольная ось такого выступа больше, нежели поперечная. Листовые подушки такой формы, как правило, исчезают по мере увеличения диаметра осей. Общепринятое мнение о том, что стволы или стебли *Bothrodendron* большого диаметра имели гладкую цилиндрическую поверхность, не является абсолютным, основываясь на коллекции донецких образцов и примерах из некоторых других коллекций (например, коллекция Кидстон в Великобритании) можно сказать, что, скорее всего, случаи гладкой поверхности характерны только для определенных сегментов базальных частей ствола. В то же время, некоторые участки стебля, в частности те, которые окружают улодендронидные веточные рубцы, при благоприятных условиях фоссилизации могут сохранять веретеновидные выступы на поверхности стебля, которые выглядят как листовые подушки *Lepidodendron*, каждая из которых несет листовой рубец. Эти выступы обычно имеют размеры, приближающиеся 10 мм в ширину и 20–30 мм в длину (рис. 11). Пример деформации «канонической» филлотаксической структуры коры приведен на рис. 12. Нет уверенности, что этот улодендронидный веточный рубец принадлежит стволу ботродендрона, но здесь важен принцип, характерный для древовидных плаунообразных. В данном случае, хотя листовые подушки отсутствуют на представленном на рисунке образце, очевидно, что листовые рубцы меняют свое положение на 90 градусов в случае появления в этом месте латеральной ветви. Это несколько отличается от традиционных представлений о структуре коры стебля и ветвей *Bothrodendron*.

В большинстве публикаций утверждается, что листовые подушки (или аналогично выглядящие структуры коры) принадлежат ветвям или побегам с маленьким диаметром (10–20 мм) и, как правило, вообще не встречаются на стволе дерева и ветвях большого диаметра. Однако, в случае образца, показанного на рис. 11, это не так. Более того, получается, что наличие веточного рубца может изменить ориентацию листовых рубцов, изменить расстояние между листовыми рубцами на поверхности стебля или деформировать филлотаксический порядок размещения листовых рубцов.

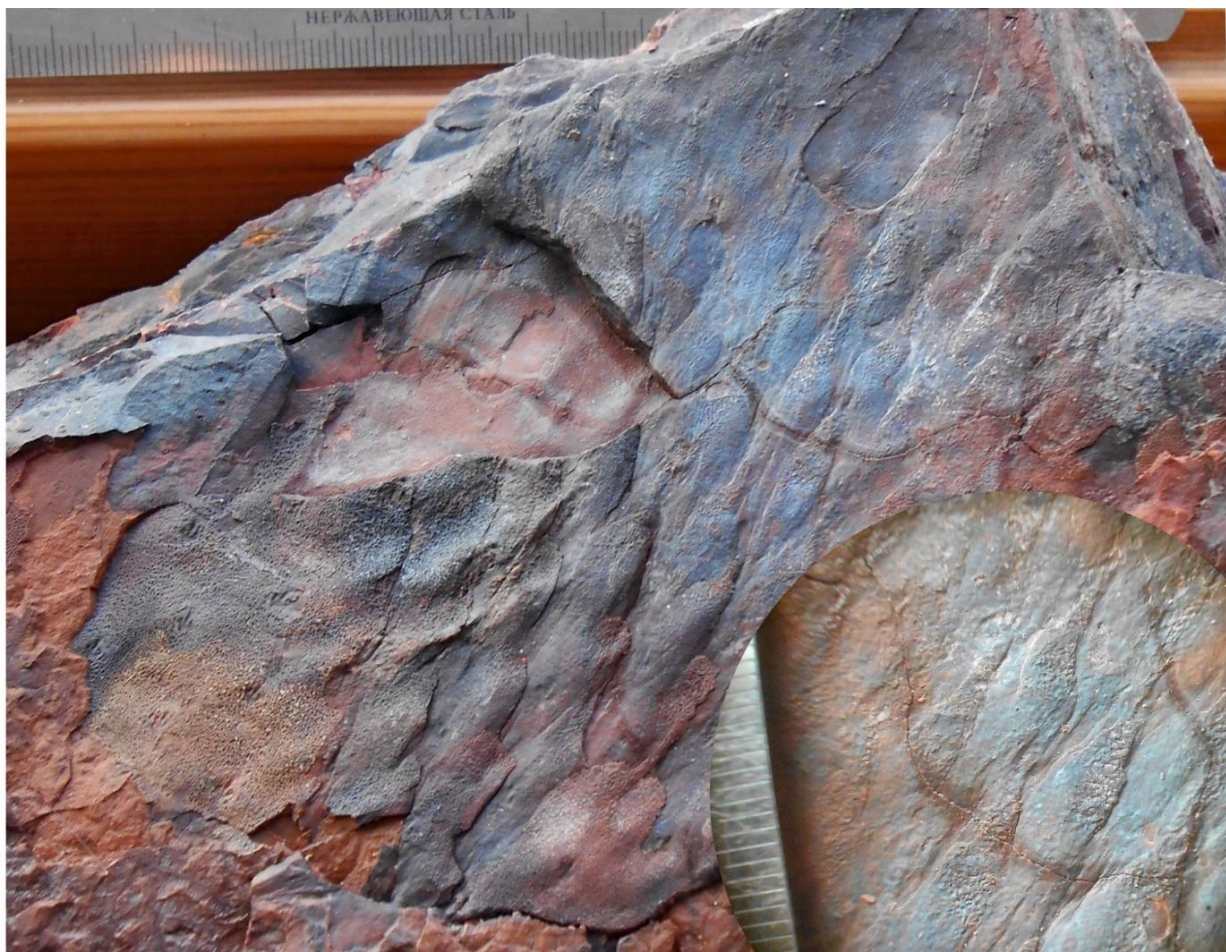


Рис. 11. Пример структуры, напоминающей листовые рубцы на ветви ботродендрона, превышающей диаметр 20 мм



Рис. 12. Пример поворота листовых рубцов вокруг улодендронидного веточного рубца

Вообще, появление побегов малых диаметров, оставляющих на образцах веточные рубцы такого же малого диаметра, было, очевидно, нередким явлением. На некоторых образцах из коллекции автора представлены ряды тонких побегов (до 3–5 мм в диаметре), которые

появляются на стволе или толстых боковых ветвях. Вероятно, они могли выполнять функцию вегетативного размножения растений (рис. 13, а, б).

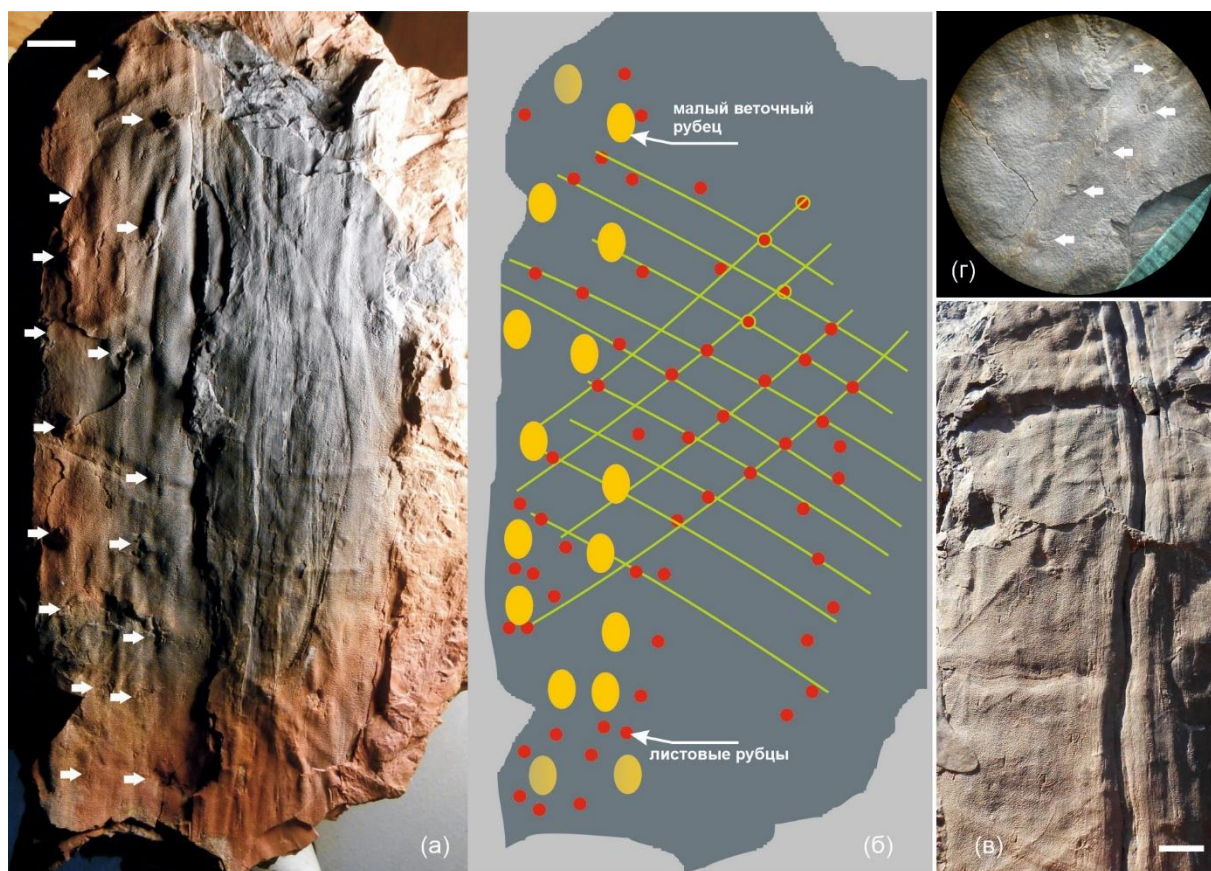


Рис. 13. Выявленные особенности структуры поверхности тонкого ствола (ветви) ботродендрона:
 а – фрагмент ветви *Bothrodendron* с двумя рядами вертикальных маленьких веточных рубцов (показаны стрелками); б – схематическая визуализация образца (красные кружки листовые рубцы, желтые – веточные рубцы); в – бороздка на поверхности стебля ботродендрона с микрорубчиками (менее 1 мм в диаметре) непонятного происхождения; г – фрагмент бороздки крупным планом (микрорубчики отмечены стрелками).
 Масштабная линейка 10 мм

Еще одна морфологическая особенность, найденная на отпечатках из коллекции, – на поверхности, в направлении оси стебля, видны некие специфические бороздки. Эти бороздки могут содержать серию микрорубчиков (размером менее 1 мм), расположенных внутри бороздок. В коллекции есть три образца с такими бороздками, и наиболее представительный показан на рис. 13, в, г. Роль этих микрорубчиков пока не ясна.

Тонкие облиственные ветви и побеги

Листья, сохранившиеся в их естественном прикреплении к ветвям *Bothrodendron*, располагались по филлотаксической спирали и, в отличие от большинства других древесных плауновидных, были относительно короткими – до 5 мм. Филлоиды имеют субтреугольные контуры, одну продольную жилку, расположенную посередине (осевую), которая простирается до кончика. На эпидермальной поверхности хорошо различимы небольшие полушаровидные выступы – устьица, а также тонкие бороздки, которые расположены как вертикально, так и горизонтально.

Коллекция автора также включает многие образцы тонких веток и облиственных побегов (примеры на рис. 14, а–в) с диаметрами от 2 до 10 мм, которые позволяют нам определить форму и длину листьев и листовых рубцов, а также парихны, проводящие пучки и ямки лигул.

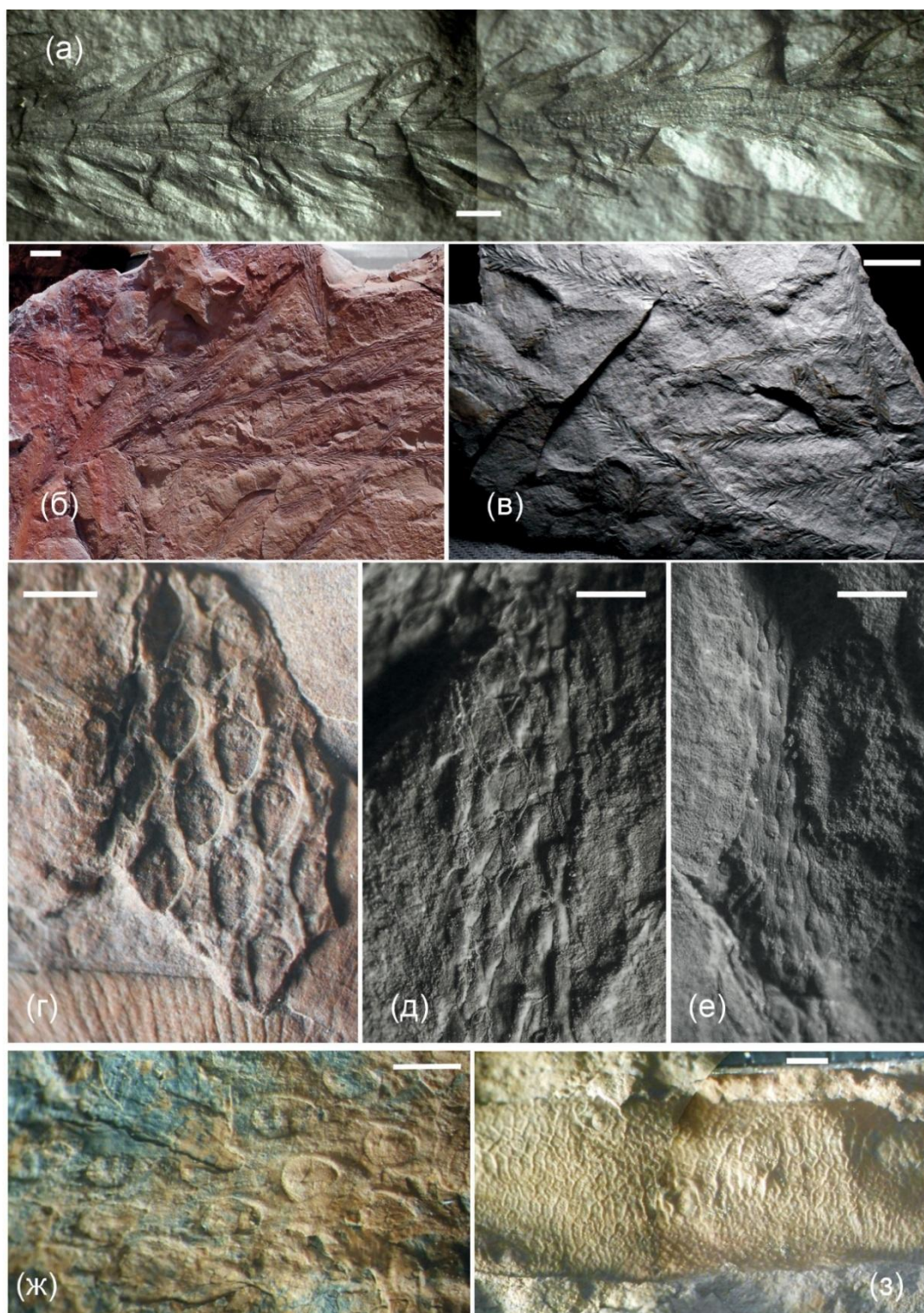


Рис. 14. Морфологические особенности тонких ветвей ботродендрона:

а–в – примеры тонких облиственных побегов ботродендрона (масштабная линейка а – 1 мм, б–в – 10 мм);
г–ж – листовые рубцы в «переходной форме» на листовых подушках на тонких побегах; з – фрагмент тонкого стебля без листовых подушек, масштабная линейка – 1 мм

На тонких облиственных ветвях можно наблюдать переходные формы листовых рубцов, которые присутствуют у основания боковой ветви в форме раструба (tramped shape), а также на облиственных побегах (рис. 14, г–и, рис. 16).

Об уровнях декортикации коры стволов ботродендрона

Поверхность коры между листовыми рубцами покрыта тонким «шагреновым» узором («акулья кожа»), образованным многоугольными перидермальными складками вертикальной

и горизонтальной ориентации (рис. 15). В хорошо сохранившихся образцах поверхность имеет морщинистый вид с сохранившимися листовыми рубцами. Специфическая шагреневая текстура коры *Bothrodendron* становится более выраженной по мере углубления от поверхности к центру ствола. Другими словами, декортикации поверхности коры приводит к появлению более рельефной шагреневой структуры. В то же время в этих образцах ямки лигулы и рубцы парихн отсутствуют или плохо различимы над и внутри листового рубца, соответственно. Некоторые примеры декортицированной коры показаны на рис. 17. Начиная с гладкой и умеренной шагреневой морфологии на внешней поверхности коры (уровень кутикулы, рис. 17, а), мы можем описать типичные виды декортикации на зрелых стеблях *Bothrodendron* [4]:

- глубокие ячейки – где локализация листового рубца все еще присутствует, шагреневая поверхность становится более выраженной, но рубцы парихн, проводящих пучков, устьиц и морщины больше не видны;
- следы лигулы – когда поверхность демонстрирует позиции листовых рубцов и следы ямки лигулы;
- вертикальные штрихи – когда поверхность показывает только короткие вертикальные штрихи, очевидно, следы проводящих пучков и резко сглаженный шагреневый узор;
- пучки древесных волокон – когда появляется четко выраженная ориентация продольного клеточного узора ткани, и поверхность приобретает форму, напоминающую обычное дерево.

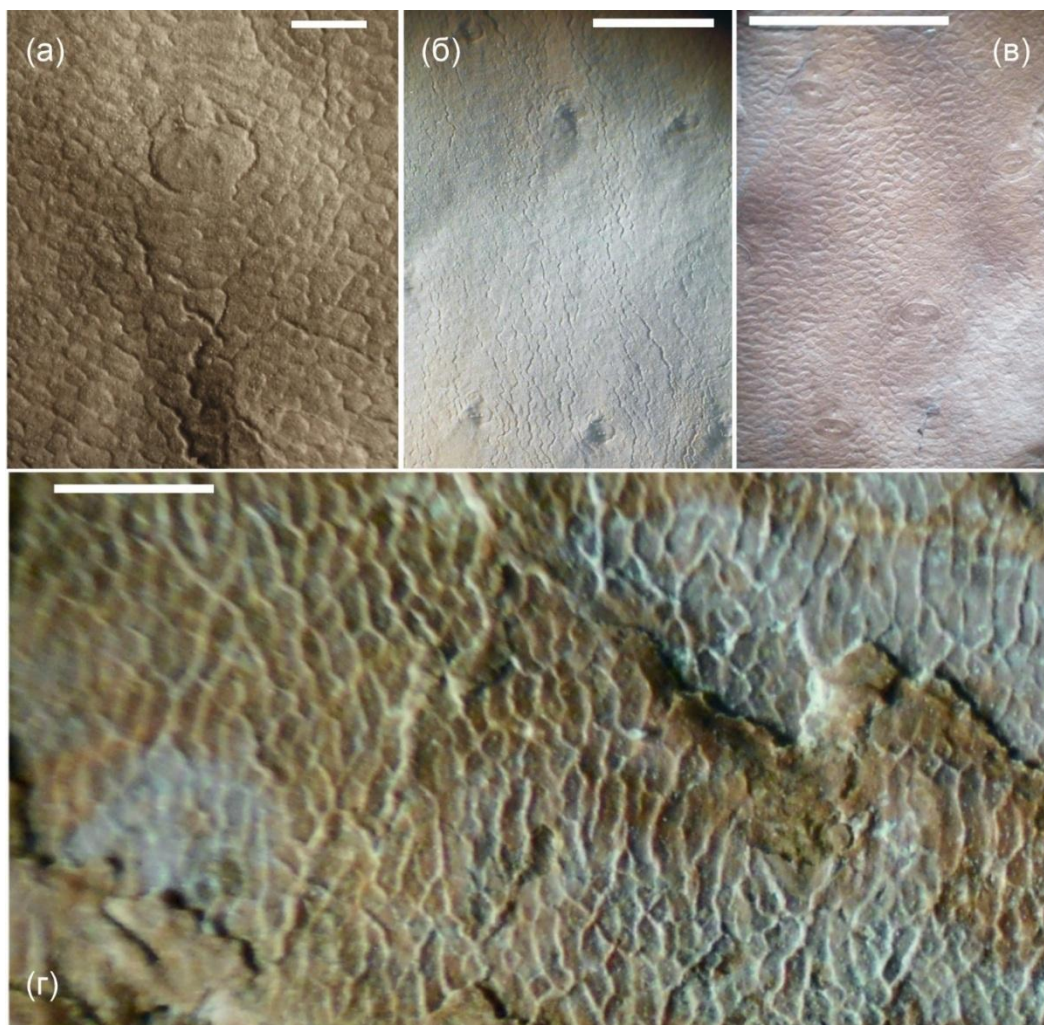


Рис. 15. Примеры «шагреневой» коры ботродендрона с листовыми рубцами на поверхности, покрытой перидермальными складками. Масштабная линейка – а, г – 1мм, б, в – 10 мм

Спороносная шишка *Bothrodendrostrobus*

В числе находок автора данной публикации есть отпечаток стробила, описанный нами ранее [4], который предварительно был определен как *Bothrodendrostrobus* sp. (рис. 17, е). Спорангии, отделенные от спорофиллов, и спорофиллы, отделенные от оси спорангия, можно видеть на рис. 17, ж–и. Кратко напомним описание стробила, данное доктором С. В. Наугольных. Стробил сохранился в виде отпечатка, он имеет узкую эллиптическую форму длиной 38 мм и шириной около 10 мм и постепенно сужается к вершине.

Стробил также имеет прямую ось, состоящую из центральной (внутренней) зоны и внешней зоны. Центральная зона узкая и очень четко ограничена. Эта область, вероятно, совпадает с васкулярными тканями и имеет ширину 0,9 мм максимум. Картина ее поверхности усложнена нерегулярно расположенными продольными морщинками, вероятно, образовавшимися в процессе осушения и утолщения силицикластической матрицы. Также есть несколько латеральных коротких рубцов на оси центральной зоны, которые соответствуют точкам прикрепления спорофиллов. Внешняя зона шириной 1 мм с обеих сторон оси. Общая толщина или диаметр стробила варьируется от 2,5 до 3,0 мм. Внешняя осевая зона оказалась менее сохранной, чем внутренняя, вероятно, потому что она состоит из более мягких тканей. Мы также можем увидеть рубцы проводящих пучков спорофиллов, показывающие переход от внутренней к внешней зоне. Проводящий пучок, покинув центральный сосудистый цилиндр, проходил через внешнюю зону оси (перидерм и, вероятно, флоэму), прежде чем войти в основание спорофиллов. Спорофилл имеет длинную узкую ромбическую или линейную форму и состоит из двух основных частей, расположенных перпендикулярно друг другу. Эти части обычно называют проксимальной и дистальной ламиной. Проксимальная ламина спорофилла плохо сохранилась. Мы можем сделать некоторые выводы о ее архитектуре, используя нечеткие отпечатки растительных тканей, расположенные между внешней осевой зоной и дистальной ламиной спорофилла. Основываясь на этих отпечатках, можно предположить, что проксимальная часть спорофилла была относительно тонкой и узкой. Она была ориентирована под углом 90 градусов к оси стробила или могла даже немного сгибаться к его основанию. Длина проксимального сегмента спорофилла варьировала от 1,2 до 1,8 мм, слегка уменьшаясь к верхней части стробила. Дистальный сегмент спорофилла также прикреплен к проксимальному под прямым углом.

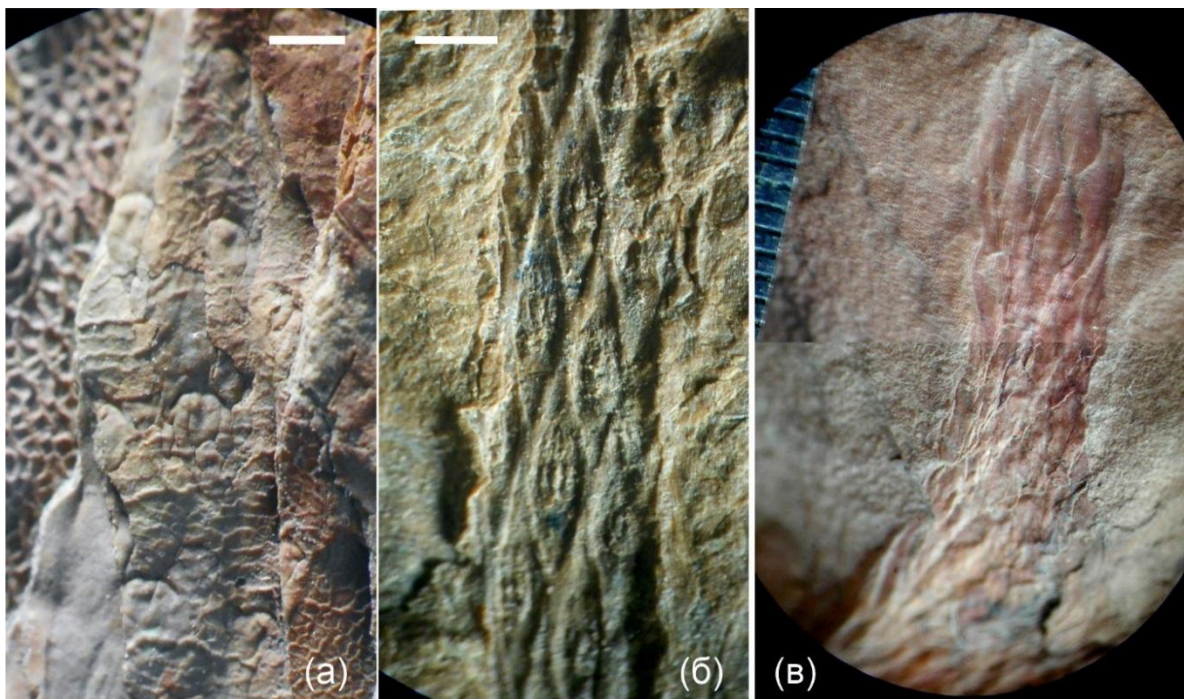


Рис. 16. Листовые рубцы (а), листовые подушки (б), ответвление в начальной стадии роста (в).
Масштабная линейка – а, б - 1мм

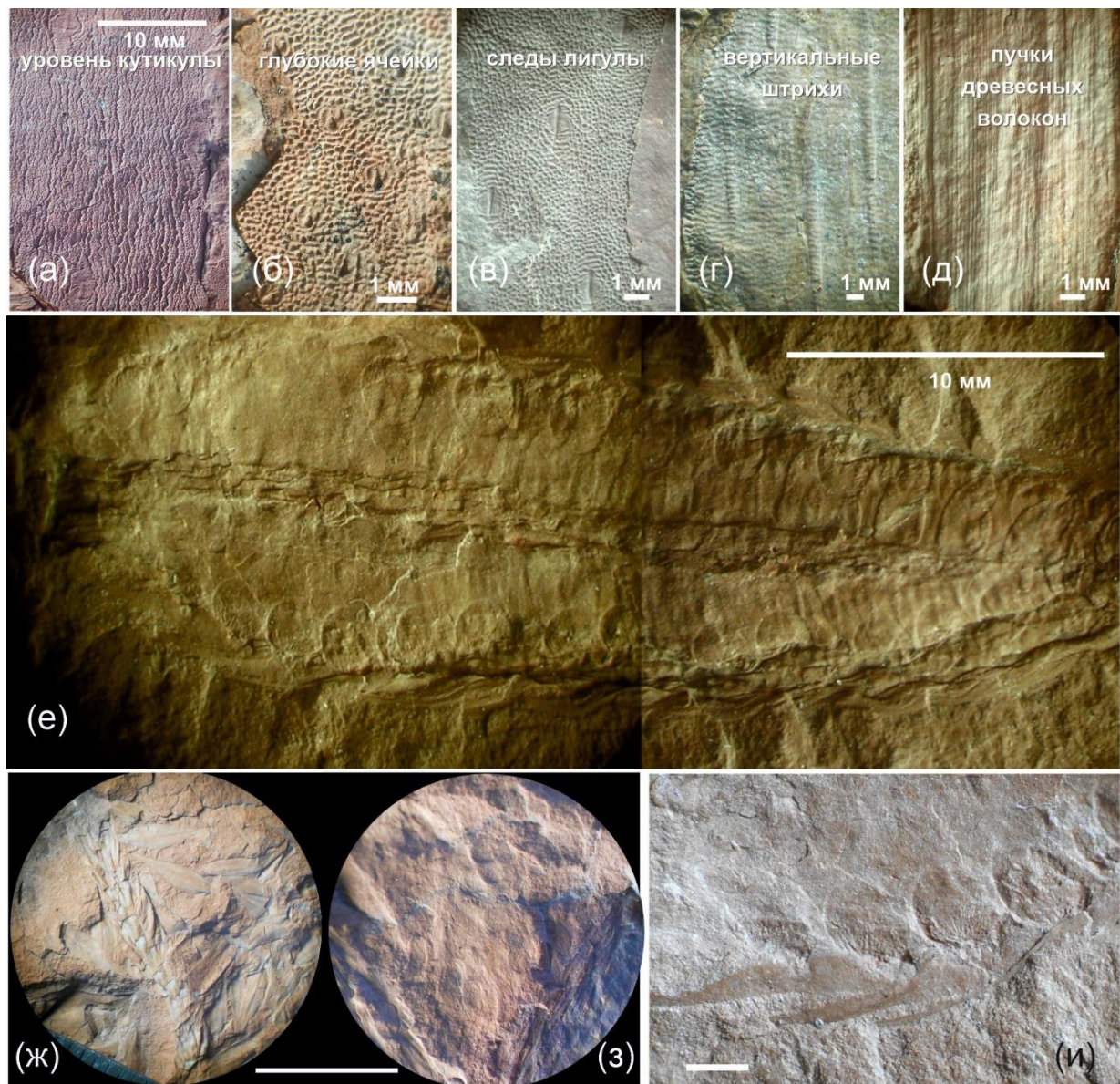


Рис. 17. Уровни декортикации кры ботродендрона:

а – уровень кутикулы; б–д – различный уровень декортикации коры ботродендрона; е – отпечаток стробила; з – спорангии, отделенные от стробила; и – спорангии, прикрепленные к спорофиллам в стробиле; ж – спорофиллы, отделенные от оси стробила. Масштабная линейка – а, е, ж, з – 10 мм, б–д, и – 1 мм

Судя по форме дистальных сегментов, спорофиллы слегка деформировались в боковом направлении, оси были ланцетными или линейно-ромбическими, с сильно вытянутыми заостренными концами. Мегаспора расположена адаксиально у основания дистального сегмента (примерно 0,5–0,7 мм выше точки, где встречаются дистальные и проксимальные ламины). Мегаспора имеет округлую или эллиптическую форму с диаметром от 1,2 до 1,8 мм. Размер мегаспоры постепенно уменьшается к верхней части стробила. У основания мегаспоры есть небольшой округлый вырост, в точке его прикрепления к поверхности спорофилла. Наблюдаются также тонкие морщинки, которые расходятся радиально от этого выроста. Морщинки распространяются на одну треть диаметра спорангия. Остальная поверхность мегаспоры гладкая. Четко развита лигула чуть выше мегаспоры. Иногда лигула может находиться на небольшом расстоянии (около 0,3 мм) от мегаспоры. Лигула обычно не превышает 0,7 мм в длину и 0,3–0,4 мм в ширину. Описанный здесь стробил довольно похож на вид *Bothrodendrostrobilus watsonii* как по общему облику, так и по некоторым деталям его структуры. Однако нельзя с уверенностью идентифицировать его как таковой, поскольку у

нас нет данных о спорах *in situ*. Поэтому этот стробил был описан в открытой номенклатуре. Мы также считаем, что *Bothrodendron* схож с *Paralycopodites* в том, что он «мог избежать ограничений гетероспории, которые накладывают абсолютную необходимость наличия отдельных мужских и женских гаметофитов в узком спектре влажных экологических условий, если должны быть произведены спорофиты; это не оптимальная жизненная история для колонизирующего вида. Однако модификация спорофитной архитектуры, так что мегаспоры и микроспоры производились почти непрерывно на протяжении длительного жизненного цикла, позволила ему поддерживать активные репродуктивные функции таким образом, который обычно недоступен биспорангиевым растениям с более коротким жизненным циклом» [21].

Предложенная реконструкция *Bothrodendrostrobis* показана на рис. 18 (нарисовано доктором С. В. Наугольных). По мнению С. Наугольных шаровидные тела на этом отпечатке стробила – это мегаспорангии, а мегаспоры просто невозможно различить и, скорее всего, их тонкие стенки просто растворились.

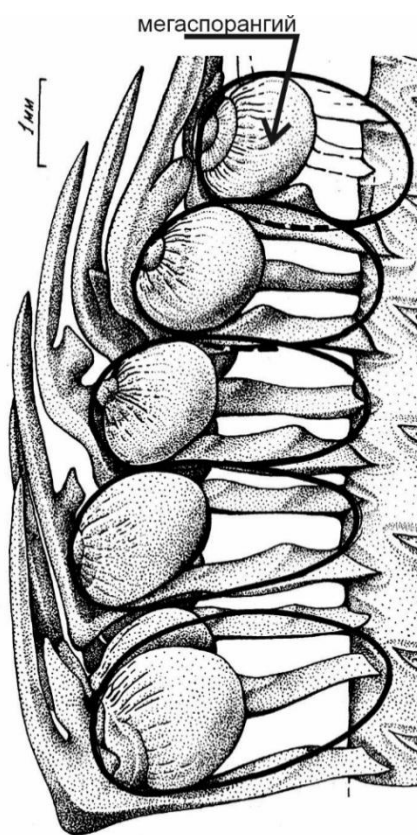


Рис. 18. Реконструкция *Bothrodendrostrobis* С. В. Наугольных на основе материалов донецких находок (Наугольных, Кишкань, 2014)

В завершение этой дискуссии мы также хотели бы обратить внимание на публикацию С. Стаблфилда и Г. Ротвелла [26], в которой рассматриваются результаты исследований образца, содержащего несколько спорангиев анатомической сохранности из стробила ботродендрона (*Bothrodendrostrobis*). Проанализировав имеющийся материал, авторы [26], сделали следующее заключение: «основываясь на эмбриологическом сходстве известном на сегодняшний день для *Bothrodendrostrobis* и современных полушниковых (*Isoetales*) и фундаментальном различии с зародышами *Lepidophloios*, возникает предположение, что ботродендрон не является древовидным плаунообразным, использующим корневую систему стигмариинного типа». Более того, по их мнению, он мог быть растением существенно меньшего размера с клубневой корневой системой подобно *Paurodendron*, описанной в статье (Phillips and Leisman, 1966) [20].

Еще одна тема для возможных дискуссий специалистов. Есть ли достаточно обоснованные свидетельства того, что корневая система ботродендрона – это система стигмариий? Автор придерживается именно такого мнения, но не может не упомянуть и другую точку зрения. Поскольку у плауновидных карбона (в том числе и не древовидных) наблюдаются как клубневидные, так и стигмариийные корневые системы, нужно уверенно понимать, с чем мы имеем дело (от этого зависит размер растения). Ведь, у всех плауновидных с редко расставленными на стволе листовыми рубцами (асоланус, пинакодендрон, ботродендрон) очень слабо представлено полное описание растения. Все, в основном, построено на предположениях. Даже Т. Тэйлор с соавторами [27], ссылаясь на публикацию К. Пигг и Г. Ротвелла [22] о *Chaloneria cormosa*, утверждает, что возможно, морфологические роды асоланус и ботродендрон являются просто стадиями разной декортикации *Chaloneria*. Исторически сложилось так, что многие палеоботаники полагали, что имеющийся палеонтологический материал, хоть по общему признанию и не полный, позволяет утверждать, что ископаемые полушниковые (*Isoetes*) являются венцом серии трансформационных преобразований в карбоне. Предполагалось, что, начиная с сигиллярии, у которой ветвей минимум, необходимость в разветвленной мощной корневой системе стигмариевого типа стала ослабевать, и было положено начало переходу к клубневидной корневой системе и уменьшению общего размера растения. Плевромея (*Pleuromeia*) из триаса является промежуточным звеном в этой цепи преобразований, а конечное звено – *Isoetes*. Однако, открытие плауновидных карбона с клубневидной корневой системой, таких как *Chaloneria*, свидетельствует о том, что они не были результатом постепенного уменьшения размеров древовидных образцов, а существовали одновременно с ними. Вразумительного ответа на этот вопрос пока нет.

Выводы

Подытоживая изложенное, можно сделать выводы о том, что ботродендрон в ходе монопоидального роста главной оси формирует латеральные ветви, ветвящиеся как анизотомно, так и изотомно, что морфологические характеристики коры и ветвей являются более разнообразными, выходящими за рамки привычных представлений, и что на сегодня нет однозначного представления о форме роста этого рода плауновидных, как и нет ответов на многие вопросы, изложенные в работе. Тем не менее, полагаясь на проанализированный материал донецких находок из коллекции автора, можно сделать некоторые новые выводы:

1. Участок коры на стволе, окружающий улодендронидные веточные рубцы от латеральных ветвей, может иметь веретенообразные выступы над поверхностью ствола (ветви), напоминающие листовые подушки лепидодендрона, на которых, в свою очередь, располагаются листовые рубцы. Эти выступы имеют размеры порядка 1 см в ширину и до 2–3 см в длину. Это выпадает за рамки привычных представлений о структуре коры ствола и ветвей ботродендрона, поскольку в известных публикациях обычно говорится о том, что листовые подушки характерны только для самых тонких ветвей (до 1 см в диаметре), а на стволе или толстых ветвях они не встречаются вообще.

2. На стволе, возможно, на крупных латеральных ветвях, могут возникать ряды (вдоль оси стволов) тонких (до 3–5 мм) ветвей, которые, вероятно, могли служить для вегетативного способа размножения.

3. На крупных латеральных ветвях, а возможно и на стволе, могут возникать борозды (вдоль оси стволов), сродни морозобойным трещинам на стволах современных дубов, которые несут микрорубцы (менее 1 мм) неясного пока назначения (среди находок имеются три образца).

4. Имеющиеся в распоряжении образцы позволяют выделить 4 уровня декортикации стволов (ветвей) ботродендрона с характерной поверхностью.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор выражает благодарность Уильяму ДиМайклу (William A. DiMichele) из Смитсоновского института (Вашингтон) и Ричарду Бэйтмену (Richard Bateman) из Королевского ботанического

сада (Эдинбург), Сергею Наугольных из Института геологии РАН (Москва) за полезные советы и рекомендации в период подготовки статьи (личная переписка). Выражаю также благодарность Дэвиду Кирквуду и Дэвиду Гелсторпу за помощь в получении фотоматериалов из Музея Манчестера, к. г.-м. н. Сергею Выборову (Донецк) за помощь в составлении стратиграфической колонки Смоляниновской свиты, к. б. н. Инне Пирко (Донецк) за крайне полезные советы в процессе редактирования рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР. / Под ред. П. И. Степанова. Т. VII. Донецкий бассейн. – М., Л.: Гос. изд-во геологической литературы Комитета по делам геологии при СНК СССР, 1944. С. 898.
2. Геолого-химическая карта Донецкого бассейна. Вып. 1. Каталог углей Сталино-Макеевского района (описание углей и вмещающих пород). Харьков: ГНТИ Украины, 1936. 489 с.
3. Залесский М. Д., Чиркова Е. Ф. Ископаемая флора среднего отдела каменноугольных отложений Донецкого бассейна. Л.; М.: ГОНТИ, Глав. ред. горно-топливной и геол.-развед. лит-ры, 1938. (Труды Центрального научно-исследовательского геолого-разведочного института (ЦНИГРИ) / Глав. геол. упр., Оргком-т XVII Междунар. геол. конгресса; Вып. 98. 163 с.
4. Наугольных С. В., Кишкань Р. В. Морфологические особенности и реконструкция формы роста гетероспорового плауновидного *Bothrodendron* Lindley et Hutton, 1833 на основе изучения материала из среднего карбона Донецкого бассейна // Палеонтология в музейной практике. Сборник научных работ. М: Медиа-Гранд, 2014. С. 66–78.
5. Основы палеонтологии. Справочник для палеонтологов и геологов СССР. Водоросли, мохообразные. Псилофитовые, плауновидные, членистостебельные, папоротники / Под ред. Орлова Ю.А. –М.: Изд-во АН СССР, 1963. 703 с.
6. Смолгора. Авторский сайт Е. Ясенова. [Электронный ресурс]. URL: <https://donjetsk.com/enciklopedia/1128-smolgora.html> (дата обращения 19.08.2025).
7. Снугиревская Н. С. Анатомическое изучение растительных остатков из угольных пачек Донбасса. Семейство *Lepidodendraceae*. Тр. Ботан. ИИ-та АН СССР. 1964. Сер. 8. Вып. 5. С. 5–38.
8. Bateman R. M. Evolutionary-developmental change in the growth architecture of fossil rhizomorphic lycopsids: scenarios constructed on cladistic foundation. // Biological Reviews. 1994. Vol. 69. P. 527–597.
9. Bateman R. M., DiMichele W. A. *Hizemodendron*, gen. nov., a pseudoherbaceous segregate of *Lepidodendron* (Pennsylvanian): Phylogenetic context for evolutionary changes in lycopsid growth architecture // Systematic Botany. 1991. Vol. 16. P. 195–205.
10. Crookall R. Palaeontology: Fossil plants of the Carboniferous rocks of Great Britain. (Second section). London: Memoirs of the Geological Survey of Great Britain, 1964. Vol. IV, Part 3. P. 217–354.
11. DiMichele W. A. Paralycopodites Morey & Morey, from the Carboniferous of Euramerica – a reassessment of generic affinities and evolution of "Lepidodendron" brevifolium Williamson // American Journal of Botany. 1980. Vol. 67. No. 10. P. 1466–1476.
12. DiMichele W. A., Bateman R. M. Diaphorodendraceae, fam. nov. (Lycopsida: Carboniferous): systematics and evolutionary relationships of Diaphorodendron and Synchronodendron, gen. nov. // American Journal of Botany. 1992. Vol. 79. No. 6. P. 605–617.
13. DiMichele W. A., Elrick S. D., Bateman R. M. Growth habit of the Late Paleozoic rhizomorphic treelycopsid family Diaphorodendraceae: phylogenetic, evolutionary and paleoecological significance // American Journal of Botany. 2013. Vol. 100. No. 8. P. 1604–1625.
14. Hirmer M. Handbuch der Paläobotanik. Munich, Berlin: R. Oldenbourg. 1927. 708 p.
15. Jennings J. R. Lower Pennsylvanian plants of Illinois. III *Bothrodendron* from the Drury Shale // Journal of Paleontology. 1979. Vol. 53. P. 519–523.
16. Jonker F. P. The Carboniferous “genera” *Ulodendron* and *Halonina*: an assessment // Palaeontographica. 1976. Abteilung B. Band 157. P. 97–111.

17. Lindley J., Hutton W. The fossil flora of Great Britain. Volume 2. London: James Ridgeway, 1833. 208 p.
18. Lindsey M. The branching and branch shedding of *Bothrodendron* // Annals of Botany. 1915. Vol. 29. P. 223–230.
19. Opluštil S. Contribution to knowledge on ontogenetic developmental stages of *Lepidodendron mannebachense* Presl, 1838 // Bulletin of Geosciences. 2010. Vol. 85. Issue 2. P. 303–316.
20. Phillips T. L., Leisman G. A. *Paurodendron* a rhizomorphic lycopod // American Journal of Botany. 1966. Vol. 53. P. 1086–1100.
21. Phillips T., DiMichele W. Comparative ecology and life-history biology of arborescent lycopoids in late Carboniferous swamps of Euramerica // Annals of the Missouri Botanical Garden. 1992. Vol. 79. P. 560–588.
22. Pigg K. B., Rothwell G. W. Cortical development in *Chaloneria cormosa* (Isoetales), and the biological derivation of compressed lycophyte decortication taxa // Palaeontology. 1985. Vol. 28. Part 3. P. 545–553.
23. Qi Wang, Bao-Yin Geng, David L. Dilcher. New perspective on the architecture of the late Devonian arborescent lycopoid *Leptophloeum rhombicum* (Leptophloeaceae) // American Journal of Botany 2005. Vol. 92, No 1. P. 83–91.
24. QI Wang, Shougang Hao, Deming Wang, Yi Wang, T. Denk. A Late Devonian arborescent lycopoid *Sublepidodendron songziense* Chen emend. (*Sublepidodendraceae* Kräusel et Weyland 1949) from China, with a revision of the genus *Sublepidodendron* (Nathorst) Hirmer 1927 // Review of Palaeobotany and Palynology. 2003. Vol. 127. Issues 3–4. P. 269–305.
25. Renier R. L'origine raméole des cicatrices ulodendroïdes // Annales de la Société Géologique de Belge. 1910. Vol. 2. P. 37–81.
26. Stubblefield S. P., Rothwell G. W. Embryogeny and reproductive biology of *Bothrodendrostrobus mundus* (Lycopsidea) // American Journal of Botany. 1981. Vol. 68. P. 625–634.
27. Taylor T. N., Taylor E. L., Krings M. Paleobotany. The biology and evolution of fossil plants. Amsterdam, Boston, Heidelberg ets.: Elsevier, 2009. 1229 p.
28. Thomas B. A. The cuticle of two species of *Bothrodendron* (Lycopsidea: Lepidoilendrales) // Journal of Natural History. 1967. Vol. 1. P. 53–60.
29. Thomas B. A., Meyen S. V. A system of form genera for the upper Paleozoic lepidophyte stems represented by compression-impression material // Review of Palaeobotany and Palynology. 1984. Vol. 41. P. 273–281.
30. Thomas B. A., Zedrow E., Cleal C. J. Leafy branches of *Bothrodendron punctatum* from the Westphalian D (Asturian) of Nova Scotia, Canada // Atlantic Geology. 2010. Vol. 46. P. 1–6.
31. Watson D. M. S. On the ulodendroid scar. // Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society. 1908. Vol. 52. P. 1–12.
32. Wnuk C. Ontogeny and paleoecology of the middle Pennsylvanian arborescent lycopod *Bothrodendron punctatum* // American Journal of Botany. 1989. Vol. 76. No. 7. P. 966–980.
33. Zalessky M. Végétaux fossiles de terrain Carbonifère du Bassin du Donetz: I. Lycopodiales // Memoires du Comité géologique de Saint-Petersbourg, n.s. 1904. Vol. 13. 126 p.

Поступила в редакцию 15.09.2025 г.

Kishkan R. V. On the finding of print samples and leafy branches of *Bothrodendron punctatum* Lindley et Hutton, 1833 in the deposits of the Donetsk basin. – The article presents an overview of the genus *Bothrodendron* Lindley et Hutton, 1833, which was quite rare in regional deposits, but widespread in the Euro-American supercontinent. The results of the study of the morphology of the ancient heterosporous lycopod *Bothrodendron* are presented, based on the materials of finds in the Middle Carboniferous deposits collected within the Donets Basin. A comparative analysis of the structural characteristics of *Bothrodendron* is presented based on the specimens identified as *Bothrodendron punctatum* Lindley J. and Hutton W., 1833 and *Bothrodendron minutifolium* (Boulay) Zeill. 1886, and arguments are put forward in favor of the conspecificity of the two mentioned species. Based on the study of new finds and literary sources, more detailed information on the features of the morphogenesis and structure of the shoot

system of *Borodendron* is put forward. New morphological features and some morphometric characteristics of *bothrodendron* obtained as a result of studying the materials of Donetsk finds from the authors' collection are presented.

Keywords: arborescent lycopods, *bothrodendron*, leaf cushions, branch scars, growth form.

Кишкань Роман Владимирович

директор филиала «Южный» ФГБУ «ВНИИ
Экология» Единого научного центра Минприроды
России, заслуженный эколог Донецкой Народной
Республики,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: roman.kishkan@vniiecology.ru
ORCID: 0009-0000-2255-5531

Kishkan Roman Vladimirovich

director; «Yuzhny» Branch of All-Russian Scientific
Research Institute of Environmental Protection
(Donetsk, Russian Federation),
Honored environmentalist of Donetsk People's Republic.

© М. В. Носова¹, В. П. Середина², С. А. Стовбунник³**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ХМАО)**¹ООО «Сахалинская Энергия»

Россия, 693020, г. Южно-Сахалинск, ул. Дзержинского, д. 35

²Национальный исследовательский Томский государственный университет

Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

³ООО «РН-Проектирование Добыча»

Россия, 634027, г. Томск, пр. Мира, д. 72

Носова М. В., Середина В. П., Стовбунник С. А. Экономическая эффективность рекультивации техногенно засоленных почв в условиях среднетаежной подзоны Западной Сибири (ХМАО). – В средней тайге Западной Сибири засоление почв вследствие разливов высокоминерализованных пластовых вод формирует длительные экологические риски и издержки недропользователей. В работе оценена экономическая эффективность трехэтапной рекультивации (дренаж → гипсование → фиторемедиация аборигенными солеустойчивыми видами) на локальном участке техногенного засоления (ХМАО, 0,6 га). Применен подход дисконтированных денежных потоков для сопоставления затрат на восстановление с предотвращенным экологическим ущербом по действующей методике. Показано, что комплекс инженерно-биологических мероприятий обеспечивает экологически измеримый эффект и положительную экономику проекта при горизонте 15 лет. Результаты соотносятся с современными данными о повышении эффективности при комбинировании гипса с органическими мелиорантами и/или фиторемедиацией. Практическая значимость – в алгоритме обоснования инвестиций в рекультивацию для регионов с гумидным климатом и техногенным галогенезом. Анализ демонстрирует, что стратегические вложения в экологическое восстановление способны трансформироваться в форму экономической выгоды, обеспечивая баланс между интересами бизнеса и общества.

Ключевые слова: рекультивация почв, техногенное засоление, экономическая эффективность, фиторемедиация, нефтедобыча, экологический ущерб, Западная Сибирь.

Введение

В условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений Западной Сибири проблема техногенного засоления почв приобретает не только экологическое, но и выраженное экономическое значение. Аварийные разливы высокоминерализованных пластовых вод, прежде всего сеноманского горизонта, формируют длительные очаги деградации, что ведет к снижению продуктивности экосистем и утрате хозяйственного потенциала территорий [6, 7, 30]. Последствия проявляются в прямых финансовых потерях компаний-недропользователей и региональных бюджетов, связанных как с возмещением ущерба, так и с упущенной выгодой от выбытия земель из оборота. Современные исследования подтверждают, что комплексные природоохранные мероприятия способны снижать уровень вторичного засоления, однако их эффективность должна оцениваться через призму экономических критериев [1, 8, 16, 20, 22–24]. Использование методологии дисконтированных денежных потоков и анализа «затраты–выгоды» позволяет перевести экологические риски в язык финансовых показателей и сформировать основу для стратегического планирования в нефтегазовом секторе.

Вопросы рекультивации техногенно-засоленных почв широко освещаются в научной литературе. Классические подходы, включающие промывку, гипсование и фитомелиорацию, были детально изучены в работах российских [4, 5, 11–13, 15] и международных

исследователей [22, 26, 28]. Однако большинство существующих методик разработаны для аридных регионов и требуют адаптации к условиям гумидного климата Западной Сибири.

Особого внимания заслуживают экономические аспекты рекультивации [18, 19]. В последние годы появился ряд работ [17, 21, 30], посвященных оценке эффективности природоохранных мероприятий с использованием методов дисконтирования денежных потоков. Тем не менее, практическое применение этих наработок часто ограничивается отсутствием точных данных о долгосрочной динамике восстановления почв и сопоставимых показателях для разных технологий.

Целью данного исследования является оценка экономической эффективности трехэтапной методики рекультивации техногенно-засоленных почв в условиях средней тайги Западной Сибири, включая:

- 1) анализ динамики снижения засоленности на примере конкретного участка загрязнения;
- 2) расчет экономической эффективности с сопоставлением затрат на рекультивацию и потенциального экологического ущерба;
- 3) разработку практических рекомендаций по оптимизации восстановительных мероприятий для нефтедобывающих регионов.

В работе оценивается эффективность существующих технологий рекультивации почв, адаптированных к условиям средней тайги Западной Сибири, а также представлен практически апробированный алгоритм принятия решений для недропользователей, балансирующий между экологическими требованиями и экономической целесообразностью. Результаты работы имеют непосредственное прикладное значение для нефтегазовых компаний, разрабатывающих программы экологической безопасности и органов государственного экологического надзора при нормировании восстановительных мероприятий.

Материал и методы исследования

Исследование проводили на территории среднетаежной подзоны Западной Сибири (Ханты-Мансийский автономный округ), где в результате аварийной ситуации на промысловом водоводе произошел разлив (2009 г.) высокоминерализованных пластовых вод. Участок расположен на водораздельной равнине левобережья Оби, сложенной аллювиально-ледниковыми отложениями. Гидрологический режим характеризуется верховодкой и сезонным подтоплением, что усугубляет миграцию солей. До загрязнения почва классифицировалась как хемозем техногенно-засоленный по подзолистой иллювиально-железистой почве [29]. После разлива сформировался техногенно-засоленный хемозем (*Gleyic Toxic Solonchaks*) [2]. В почву поступили загрязняющие вещества – хлориды (минерализация >15 г/л), определены по ГОСТ 26425–85 [3]. Площадь очага загрязнения составила 0,6 га, глубина проникновения солей – до 1,2 м. Лабораторный анализ почв проводили с подготовкой водной вытяжки (ГОСТ 26423–85) [2]. Нефтепродукты (НП) в почвах определены в соответствии с ПНДФ 16.1:2.21–98 [9].

Для расчета экологического ущерба применялась модифицированная методика Минприроды РФ (№ 238, 2010) [10] с учетом региональных коэффициентов для таежных почв и альтернативной стоимости земель (упущенная выгода от невозможности лесопользования).

Экономический анализ ремедиационных мероприятий проведен методом дисконтированных денежных потоков (DCF). С учетом периода восстановления экосистемы принят горизонт расчета 15 лет. Ставка дисконтирования – 10 %. Сметные расчеты проведены в программном обеспечении «ГРАНД-Смета» с актуализированными ценами 2024 г. В расчете учтены этапы рекультивации: технический (обустройство дренажной канавы и систем сообщающихся траншей, планировка территории); биологический (внесение мелиорантов – гипс; посев фитомелиорантов – солетолерантная растительность).

Рассмотренные сравнительные анализы альтернатив: сценарий «бездействия» (накопленный ущерб) и сценарий «рекультивации».

Результаты и обсуждение

Установлено, что рекультивация почв, подвергшихся техногенному засолению, на исследуемом участке наиболее эффективно осуществляется поэтапно с использованием комплекса инженерных, агрохимических и биологических мероприятий. Выяснено, что устройство системы закрытого дренажа и дренажных траншей обеспечивает регулирование уровня грунтовых вод и отток минерализованных растворов. Доказано, что применение приемов снегозадержания и формирование микрорельефа способствуют равномерному распределению влаги и предотвращают застой солевых растворов. Установлено, что промывка почвы пресной водой обеспечивает вынос хлоридов и сульфатов в дренажную систему, что сопровождалось последующим снижением концентрации солей.

Определено, что проведение глубокого фрезерования и рыхления улучшает аэрацию и водопроницаемость, создавая условия для эффективного действия мелиорантов. Доказано, что гипсование является основным приемом химической мелиорации: замещение натрия кальцием существенно снижает негативное воздействие засоления. Установлено, что дополнительное внесение извести и органических удобрений способствует улучшению структуры почвы и активизации микробного сообщества. Повторная механическая обработка обеспечивала равномерное распределение мелиорантов в пахотном горизонте, что подтверждено результатами анализа.

Выявлено, что на заключительном биологическом этапе наиболее эффективно зарекомендовал себя посев аборигенных галофитов и луговых трав, устойчивых к повышенной минерализации. Доказано, что такой подход способствует формированию устойчивого фитоценоза и восстановлению экосистемных функций. Зафиксировано, что концентрация хлорид-ионов в верхнем горизонте почвы снизилась более чем в 20 раз (от 6 687 до 2 ммоль(экв)/100 г), а степень зарастания участка местной растительностью превысила 90 %. Подтверждено, что к третьему году наблюдений восстановление видового разнообразия растительного покрова достигло 75 %. Установлено, что результаты обладают высокой устойчивостью: через 7 лет после завершения основных работ вторичное засоление не зафиксировано.

Таким образом, доказана эффективность предложенной технологии восстановления почв, подверженных засолению хлорид-ионами, включающей комбинацию дренажных, механических и биологических методов. Экономическая целесообразность комплекса подтверждена расчетами предотвращенного ущерба в соответствии с нормативными требованиями, а сравнительный анализ затрат по этапам показал прямую зависимость между последовательным снижением содержания хлорид-ионов и затратами на мероприятия на рис. 1.

Более подробно результаты проведения рекультивационных мероприятий представлены в других работах авторов [6, 7].

Расчет проведен по рыночным ценам [14]. Таким образом, общая стоимость работ составляет $147\,750 + 549\,509,4 + 481\,651,56 = 1\,178\,910,96$ руб. В стоимости не учитывается перебазировка техники, и зарплата сотрудникам, так как работы могут быть выполнены собственными силами.

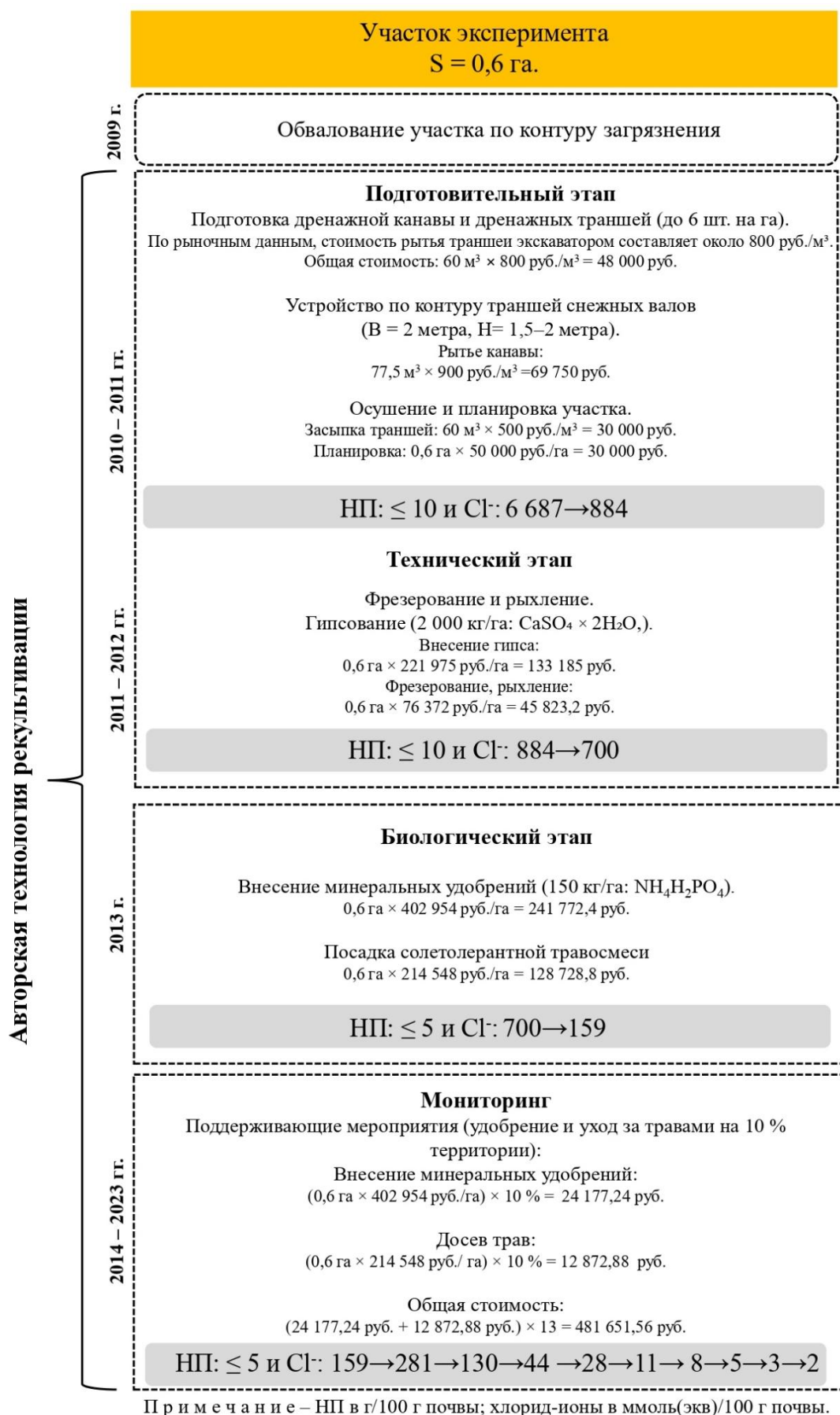


Рис. 1. Этапы проведения рекультивационных работ и их стоимость (среднетаежная подзона Западной Сибири, ХМАО)

При оценке эффективности рекультивационных работ ключевым аспектом является сопоставление затрат на восстановление почв с потенциальным экологическим ущербом. В соответствии с Приказом Минприроды № 238, размер вреда, причиненного почвам вследствие химического загрязнения, подлежит расчету в стоимостном выражении. Согласно методике, исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву поллютантов, проведено следующим образом (1):

$$УЩ_{загр} = CЗ \times S \times Kr \times Kисп \times Tx \times Kмнс \times 1,3 \times 1,5 \quad (1)$$

$$87\,750\,000 \text{ руб.} = 15 \times 6\,000 \times 1,3 \times 1,5 \times 500 \times 1$$

где $УЩ_{загр}$ – размер вреда в результате загрязнения почв,
 $CЗ$ – степень загрязнения (15, максимальная),
 S – площадь загрязнения (6 000 м²),
 Kr – коэффициент, учитывающий глубину загрязнения (0,3 м),
 $Kисп$ – коэффициент, учитывающий категорию земель,
 Tx – такса за загрязнение (руб./м²) (500 руб. для таежной зоны),
 $Kмнс$ – показатель, учитывающий мощность плодородного слоя почвы (1, отсутствует в связи с загрязнением и отсыпкой площадки на этапе строительно-монтажных работ).

Расчеты подтверждают, что затраты на рекультивацию экономически оправданы, поскольку предотвращенный ущерб превышает стоимость реализованных мероприятий. Предложенный алгоритм может быть рекомендован для внедрения на аналогичных техногенно-нарушенных территориях.

Использование методов эколого-экономического анализа позволяет перевести экологические риски в экономическую плоскость (формулы 1–6).

1. Чистая приведенная стоимость (NPV).

Затраты на рекультивацию распределены на 15 лет (рис. 1):

- 1-й год: 147 750 руб.
- 2-й год: 549 509,4 руб.
- 3–15-й годы: 481 651,56 руб. (37 050,12 руб. ежегодно).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

$$NPV = \sum_{t=15}^{15} \frac{CF_t}{(1+0,1)^t}$$

где CF_t – экономический эффект в году t ,
 r – ставка дисконтирования,
 t – номер периода,
 $(1+0,1)^t$ – коэффициент дисконтирования.

$$\text{Год 1: } NPV_1 = 147\,750 / 1,1^1 = 134\,318,18 \text{ руб.} \quad (3)$$

$$\text{Год 2: } NPV_2 = 549\,509,4 / 1,1^2 = 454\,140 \text{ руб.} \quad (4)$$

$$\text{Год 1–13: } PVA = 37\,050,12 \times (1 - (1+0,1)^{-13} / 0,1) = 37\,050,12 \times 7,1034 = 263\,181,82 \text{ руб.} \quad (5)$$

$$\text{Дисконтирование к началу:} \\ 263\,181,82 / 1,1^2 = 217\,505,64 \text{ руб.} \quad (6)$$

$$\text{Общий дисконтированный поток рассчитываем суммой:} \\ NPV = 134\,318,18 + 454\,140 + 217\,505,64 = 805\,963,8 \text{ руб.} \quad (6)$$

При этом предотвращенный ущерб (по Приказу Минприроды № 238) составляет 87 750 000 руб., что значительно превышает затраты. Таким образом, рекультивация почв экономически целесообразна ($NPV > 0$).

2. Срок окупаемости.

Накопленные затраты за 15 лет: 1 178 910,96 руб. Уже в первый год предотвращенный ущерб (87 750 000 руб.) многократно покрывает затраты. Срок окупаемости – менее 1 года.

3. Накопленный ущерб «бездействия» (если рекультивацию не проводить). Если не проводить рекультивацию, то почва остается загрязненной, что приводит к ежегодному увеличению ущерба из-за миграции солей и деградации экосистемы. Для расчета примем ежегодный прирост ущерба на 5 % (по аналогии с методиками оценки экологического вреда), формулой сложных процентов (формула 10).

$$U_n = U_0 \times (1 + r)^n \quad (10)$$

где U_n – накопленный ущерб через n лет,
 U_0 – 87 750 000 руб. – начальный ущерб,
 $r = 0,05$ (5%) – годовой прирост ущерба,
 n – количество лет.

Расчет представлен на 10 лет (см. таблицу).

Таблица

Расчет накопленного ущерба

Год (n)	Накопленный ущерб (U_n), руб.
1	$U_1 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^1 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^1 = 92\,137\,500,00$ руб.
2	$U_2 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^2 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^2 = 96\,744\,375,00$ руб.
3	$U_3 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^3 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^3 = 101\,581\,593,75$ руб.
4	$U_4 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^4 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^4 = 106\,660\,673,44$ руб.
5	$U_5 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^5 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^5 = 111\,993\,707,11$ руб.
6	$U_6 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^6 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^6 = 117\,593\,392,46$ руб.
7	$U_7 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^7 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^7 = 123\,473\,062,09$ руб.
8	$U_8 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^8 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^8 = 129\,646\,715,19$ руб.
9	$U_9 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^9 = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^9 = 136\,129\,050,95$ руб.
10	$U_{10} = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^{10} = 87\,750\,000 \times (1 + 0,05)^{10} = 142\,935\,503,50$ руб.

Если рекультивацию не проводить, ущерб будет расти экспоненциально. Чем дольше откладывается рекультивация, тем выше затраты на восстановление.

Проведенные расчеты демонстрируют экономическую эффективность предложенного комплекса рекультивационных мероприятий. Расчет чистой приведенной стоимости (NPV) ремедиационных мероприятий показал значительное преимущество данного подхода – 805 963,8 руб. Это подтверждает, что восстановление загрязненных почв экономически выгоднее, чем выплата компенсации за нанесенный ущерб.

Отказ от рекультивации приводит к экспоненциальному росту ущерба: через 10 лет его величина достигает 142 935 503,50 руб. Внедрение рекультивационных технологий снижает репутационные и финансовые риски, связанные с экологическими штрафами, и позволяет интегрировать принципы ESG в корпоративную стратегию.

Особую актуальность этому выводу придает правовой контекст: срок исковой давности по экологическим нарушениям превышает 20 лет, что создает долгосрочные риски для недропользователей. Несмотря на то, что контролирующие органы регулярно фиксируют случаи загрязнения почв (в частности, высокоминерализованными водами), механизм штрафных санкций применяется крайне редко. Фактически, эти санкции представляют собой

«спящий ресурс взысканий», который может быть активирован даже после истечения срока исковой давности.

Судебная практика свидетельствует, что при рассмотрении экологических исков в расчет компенсации включаются не только прямые убытки, но и затраты на восстановление деградированных земель. В этой связи предложенная технология ремедиации приобретает двойное значение: экологическое – прямое восстановление почвенного покрова; экономико-правовое – снижение потенциальных исковых требований со стороны государственных надзорных органов.

Таким образом, внедрение ремедиационных мер не только обеспечивает соблюдение природоохранного законодательства, но и снижает финансовые риски предприятий, минимизируя вероятность масштабных компенсационных выплат в будущем.

Выводы

1. Техногенное засоление почв в таежной зоне Западной Сибири представляет собой фактор долговременных финансовых потерь, выражающихся в снижении продуктивности земель и росте затрат на компенсацию ущерба.

2. Применение инструментов экономического анализа, основанных на дисконтировании денежных потоков и оценке «затраты–выгоды», обеспечило возможность количественного сопоставления затрат на восстановительные мероприятия с предотвращенным ущербом.

3. Рассмотрение природоохранных мер в категории инвестиционных проектов позволило повысить прозрачность управленческих решений и обосновать их долгосрочную эффективность. Такой подход согласуется с современными исследованиями, демонстрирующими целесообразность комплексного применения инженерных и биологических методов мелиорации с учетом экономической отдачи.

4. Реализованный пример по экономической оценке последствий техногенного засоления и эффективности мер по его снижению показал, что данные мероприятия формируют основу для интеграции экологической политики в стратегию устойчивого развития нефтегазового комплекса, обеспечивая баланс между корпоративными интересами и сохранением природных ресурсов региона.

Список литературы

1. *Васильева Е. Э.* Экономика природопользования. Минск: Изд-во Белорусского государственного университета. 2002. 119 с.
2. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011. 8 с.
3. ГОСТ 26425–85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. М.: Государственный комитет СССР, 1985. 9 с.
4. *Лебедева О. С., Николаев И. А.* Рекультивация засоленных почв в местах древней добычи соли // Почвоведение. 2020. № 3. С. 29–36.
5. *Новиков В. П., Кузнецова А. Г.* Методы снижения техногенного засоления почв в условиях добычи калийных руд // Геоэкология. 2021. № 2. С. 30–37.
6. *Носова М. В.* Влияние нефтесолевого загрязнения на экологическое состояние почв поймы реки Оби в условиях среднетаежной подзоны Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук: спец. 1.5.15. Томск, 2024. 213 с.
7. *Носова М. В., Середина В. П., Стовбунник С. А.* Опыт проведения локальных рекультивационных мероприятий по восстановлению техногенно-засоленных почв // Принципы экологии. 2024. № 3. С. 61–71. DOI: 10.15393/j1.art.2024.14964.
8. *Папенков К. В.* Введение в экономику природопользования и охраны окружающей среды. М.: Изд-во «ТЕИС». 2001. 120 с.
9. Пат. RU 2740173 Комбинированный агрегат биомелиорации земель с переработкой лесокустарника для утилизации щепы, древесной золы и подсева семян / Пунинский В. С.,

Шевченко В. А.; патентообладатель ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. № 2020103399; заявл. 28.01.2020; опубл. 12.01.2021. Бюл. № 2.

10. Пат. RU 2760480C1. Способ биомелиорации засоленных сухостепных, полупустынных земель в зоне ветровой эрозии и комбинированный агрегат для его осуществления / Пунинский В. С., Кизяев Б. М., Шевченко В. А.; патентообладатель ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. № 2021104748; заявл. 25.02.2021; опубл. 25.11.2021. Бюл. № 33.

11. ПНД Ф 16.1:2.21–98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости Флюорат-02. М.: Федеральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1998. 31 с.

12. Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» // Официальный интернет-портал правовой информации. 2010. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104774/ (дата обращения 10.07.2025)

13. Руководство по управлению засоленными почвами / под ред. Р. Варгаса [и др.]. Rome: FAO, 2017. 153 с.

14. Справочник рыночных расценок на строительные и инженерные работы / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. М.: Минстрой России, 2023. 540 с.

15. Фоминых Д. Е. Техногенное засоление почв как геоэкологический фактор при разработке нефтяных месторождений Среднего Приобья: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: спец. 25.00.36. Томск, 2013. 165 с.

16. Хачатуров Т. С. Экономика природопользования. М.: Наука. 1987. 254 с.

17. Чеботарев Н. Ф. Оценка стоимости предприятия (бизнеса). М.: Дашков и К, 2022. 252 с.

18. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификации и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

19. Щербаков В. А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса): подходы, методы и практические примеры оценки стоимости предприятия. М.: Омега-Л, 2012. 315 с.

20. Damodaran A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. 3rd Edition. Wiley, Hoboken. 2012. P. 949.

21. Fregonara E., Ferrando D. G. The Discount Rate in the Evaluation of Project Economic Sustainability // Sustainability. 2023. 15(3). 2467. P. 1–13. DOI: 10.3390/su15032467.

22. Huang G., Liu B., Jiang X., Liang Y., Cai J., Huang L. The application of amendments improves properties of salt-affected soils across China // Soil & Tillage Research. 2025 (онлайн публиц.). 248. 106431. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.still.2024.106431.

23. Niaz S., Wehr J.B., Dalal R. C., Kopittke P. M., Menzies N.W. Organic amendments and gypsum reduce dispersion and increase aggregation of two sodic Vertisols // Geoderma. 2022. 425. 116047. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116047.

24. Rezapour S., Nouri A., Asadzadeh F., Barin M., Erpul G., Jagadamma S., Qin R. Combining chemical and organic treatments enhances soil health in saline-sodic soils // Communications Earth & Environment. 2023. 4. 285. P. 1–12. DOI: 10.1038/s43247-023-00948-6.

25. Singh Y. P., Arora S., Singh A. K. Rationalizing mineral gypsum use through microbially enriched compost for alkali soils // Scientific Reports. 2023. 13. 15062. P. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-023-37823-5.

26. Sutormin O. S., Goncharov A. S., Kratasyuk V. A., Petrova Y. Y., Bajbulatov R. Y., Yartsov A. E., Shpedt A. A. Effects of Oil Contamination on Soils in Middle Taiga of Western Siberia // Sustainability. 2024. 16. 11204. P. 1–15. DOI: 10.3390/su162411204.

27. Wang X., Ding J.-L., Han L.-J., Tan J., Ge X.-Y., Nan Q. Biochar addition reduces salinity in salt-affected soils with no impact on soil pH: A meta-analysis // *Geoderma*. 2024. 443. 116845. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.geoderma.2024.116845.
28. Westhoff S., Reese C., Clay S.A., Bhattarai D., Joshi D. R., Reicks G., Osterloh K. R., Moriles-Miller J., Clay D. E. Combining gypsum with establishment of perennials improves saline soil properties // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2024. 79(6). P. 271–279. DOI: 10.2489/jswc.2024.00082.
29. *World Reference Base for Soil Resources*. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps // *World Soil Resources Reports*. Rome: FAO, 2022. No 106. P. 181.
30. Yang S., Hao X., Xu Y., Yang J., Su D. Meta-Analysis of the Effect of Saline-Alkali Land Improvement on SOC // *Life*. 2022. 12(11). 1870. P. 1–16. DOI: 10.3390/life12111870.

Поступила в редакцию 08.08.2025 г.

Nosova M. V., Seredina V. P., Stovbunik S. A. Economic efficiency of reclamation of technogenically saline soils in the conditions of the middle taiga subzone of Western Siberia (Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug). – In the middle taiga of Western Siberia, soil salinization due to spills of highly mineralized formation waters creates long-term environmental risks and costs for subsoil users. The paper estimates the economic efficiency of a three-stage reclamation (drainage → gypsum application → phytoremediation with native salt-tolerant species) in a local area of technogenic salinization (Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, 0.6 ha). The discounted cash flow approach is used to compare the costs of restoration with the environmental damage prevented according to the current methodology. It is shown that the complex of engineering and biological measures provides an ecologically measurable effect and positive project economics with a 15-year horizon. The results are consistent with modern data on increased efficiency when combining gypsum with organic ameliorants and/or phytoremediation. The practical significance lies in the algorithm for justifying investments in reclamation for regions with a humid climate and technogenic halogenesis. The analysis demonstrates that strategic investments in ecological restoration can be transformed into a form of economic benefit, ensuring a balance between the interests of business and society.

Keywords: soil reclamation, technogenic salinization, economic efficiency, phytoremediation, oil production, environmental damage, Western Siberia.

Носова Мария Владимировна

кандидат биологических наук,
специалист по экологической безопасности
ООО «Сахалинская Энергия», г. Южно-Сахалинск, РФ.
E-mail: nsmvsh@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7985-6474
AuthorID: 1043987

Nosova Maria Vladimirovna

Candidate of Biological Sciences;
environmental protection specialist,
Sakhalin Energy LLC, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian
Federation.

Середина Валентина Петровна

доктор биологических наук,
профессор кафедры почвоведения и экологии почв
Национального исследовательского Томского
государственного университета, г. Томск, РФ.
E-mail: seredina_v@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7432-1726
AuthorID: 434107

Seredina Valentina Petrovna

Doctor of Biological Sciences;
Professor of the Department of Soil Science and Soil
Ecology of the National Research Tomsk State
University, Tomsk, Russian Federation.

Стовбунник Сергей Анатольевич

главный специалист Управления экологии
ООО «РН-Проектирование Добыча», г. Томск, РФ.
E-mail: StovbunikSA@rn-pd.rosneft.ru

Stovbunik Sergey Anatolievich

Chief Specialist of the Ecology Department of RN-
Design Extraction LLC, Tomsk, Russian Federation.

© А. В. Амолин

РОЮЩИЕ ОСЫ СЕМЕЙСТВА SPHECIDAE (HYMENOPTERA: SPHECIFORMES)
СЕВЕРНОГО ПРИАЗОВЬЯ И ДОНЕЦКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46

Амолин А. В. Роющие осы семейства Sphecidae (Hymenoptera: Spheciformes) Северного Приазовья и Донецкой возвышенности. – В статье приведены результаты многолетних исследований фауны роющих ос семейства Sphecidae Северного Приазовья и Донецкой возвышенности. В результате анализа литературных данных, а также собственных сборов ос было установлено обитание 17 видов из 7 родов ос семейства Sphecidae (*Ammophila campestris*, *A. heydeni*, *A. sabulosa*, *A. terminata*, *Podalonia affinis*, *P. fera*, *P. hirsuta*, *P. luffi*, *Sceliphron curvatum*, *S. destillatorium*, *Palmodes strigulosus*, *Prionyx kirbii*, *P. nudatus*, *P. subfuscatus*, *Isodontia mexicana*, *Sphex flavipennis*, *S. funerarius*). Из них два вида *Sceliphron curvatum* и *Isodontia mexicana* являются инвазивными, появившимися на изучаемой территории в последние 19 (*Sceliphron curvatum*) и 10 лет (*Isodontia mexicana*). Большинство выявленных видов являются важными в практическом отношении осами-энтомофагами, регулирующими численность некоторых видов насекомых-вредителей культурных растений.

Ключевые слова: роющие осы, фауна, Северное Приазовье, Донецкая возвышенность.

Введение

Роющие осы насчитывают в фауне России 684 вида, относящихся к 87 родам и 3 семействам [24]. Это важная в практическом отношении группа жалящих перепончатокрылых насекомых регулирующих численность многих вредителей леса и сельского хозяйства. Изученность роющих ос Северного Приазовья и Донецкой возвышенности остается слабой вследствие малочисленности для этих территорий специальных эколого-фаунистических работ. Самой крупной сводкой посвященной роющим осам, частично охватывающей данную территорию, является работа А. В. Шкуратова по роющим осам Ростовской области и прилегающих территорий, в которой автором приведен аннотированный список 224 видов из 58 родов и 2 семейств [20]. В частности, для отдельных локалитетов Северного Приазовья и Донецкого края автор приводит 123 вида, среди которых указаны находки целого ряда редких степных видов. Кроме того, в работе К. И. Шоренко и С. В. Коновалова имеются сведения о находках целого ряда видов роющих ос с территории юга Донецкой возвышенности и долины Северского Донца [22], а также в небольшом сообщении В. Г. Горобчишина приведен список 33 видов роющих ос заказника «Обиточная коса» [10].

Территории Северного Приазовья и Донецкой возвышенности расположены на юге Русской равнины и граничат друг с другом в пределах Донбасса. Донецкая возвышенность представляет собой сглаженный денудационными процессами остаток древней горной складчатой страны, которая имеет общую протяженность с востока-юго-востока на запад-северо-запад более чем на 300 км, при ширине от 50 км на востоке до 120 км на западе [16]. Территория Северного Приазовья примыкает с юга к Донецкой возвышенности и охватывает равнинные ландшафты Приазовской низменной степи и Приазовской возвышенности, являясь продолжением Причерноморской низменности.

Основной целью данной работы было представить аннотированный список ос семейства Sphecidae Северного Приазовья и Донецкой возвышенности на основе как

литературных, так и собственных многолетних исследований. Частично некоторые результаты были опубликованы автором ранее [1–9].

Материал и методы исследования

Материалом для данного сообщения послужила коллекция роющих ос кафедры зоологии и экологии Донецкого государственного университета, включающая сборы студентов (с 70-ых годов прошлого века по настоящее время) на территории Донецкой области, а также многолетние сборы автора на территории Донбасса.

Экологическая и зоогеографическая характеристика приводимых видов приведена на основе анализа сведений приведенных в работах В. Л. Казенаса [12, 14], Ю. Н. Данилова [23] и в Аннотированном Каталоге перепончатокрылых насекомых России [24]. Собранный материал был определен А. В. Шкуратовым (большая часть) и А. В. Антроповым (виды *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) и *Isodontia mexicana* (de Saussure, 1867)).

Аннотации в списке ос включают краткую характеристику каждого рода, название вида, литературные данные о его находках на исследуемой территории, оригинальные сведения по экологии и биотопическому распределению, изученный материал. Названия видов, систематическое положение, а также порядок приведения таксонов приведены в соответствии с Аннотированным Каталогом перепончатокрылых насекомых России [24].

Перечень сокращений и обозначений, принятых в списке:

ДБС – Донецкий ботанический сад;
ДНР – Донецкая Народная Республика;
ЛНР – Луганская Народная Республика;
г. – город;
пос. – поселок;
с. – село;
пгт – поселок городского типа;
Лен. Ком. – парк Ленинского Комсомола;
запов. – заповедник;
окр. – окрестности;
РЛП – Региональный Ландшафтный Парк;
С – север; Ю – юг; З – запад; В – восток.

Результаты и обсуждение

В результате исследований на территории Северного Приазовья и Донецкой возвышенности выявлено 17 видов ос семейства Sphecidae, относящихся к 7 родам. Ниже приведен аннотированный список выявленных видов ос семейства Sphecidae Северного Приазовья и Донецкой возвышенности.

Семейство Sphecidae

1. Подсемейство Ammophilinae

1. Род *Ammophila* W. Kirby, 1798

Всесветно распространенный род, насчитывающий в мировой фауне 234 вида [24]. Наибольшее число видов отмечено в аридных регионах Палеарктики и Неарктики [12]. В фауне России известно 23 вида [24].

Самки изученных видов строят гнезда в почве, самостоятельно выкапывая гнездовой ход. Гнезда одноячейковые. Провизия – гусеницы бабочек, ложногусеницы пилильщиков, реже (*A. dives*) саранчовые [11].

1. *Ammophila campestris* Latreille, 1809

[20]: 72 (Донецкая обл., пос. Анадоле, Луганская обл., заповедник «Провальская степь»); [22]: 10 (Луганская обл., Славяносербский р-н, с. Трёхизбенка).

Транспалеарктический полизональный вид [12, 14]. На изучаемой территории, по-видимому, широко распространенный вид.

Материал. Россия, ДНР, ♀, 32 км С г. Артемовск (окр. с. Дроновка), 06.VII.2000 (Иванов).

2. *Ammophila heydeni* Dahlbom, 1845

[10]: 34 (Запорожская обл., «Обиточная коса»); [20]: 72 (Ростовская обл., хутор Недвиговка); [22]: 10 (Луганская обл., Славяносербский р-н, с. Трёхизбенка); [2]: 55 (Северное Приазовье); [5]: 274 (г. Донецк).

Древнесредиземский пустынно-степной вид, широко распространенный в Донбассе, включая территорию Северного Приазовья. По-видимому, является одним из обычных, фоновых видов данного рода, на территории Северного Приазовья. Автором вид был отмечен в степных ландшафтах (участки разнотравно-типчаково-ковыльных степей, склоны степных балок в долинах рек Северного Приазовья).

Материал. Россия, ДНР, ♀, 15 км С-З г. Славянск (окр. с. Богородичное), 15.VI.1972; ♀, Волновахский р-н, окр. с. Анадоля, 05.X.2001 (Амолин); ♂, 32 км С г. Артемовск (окр. с. Дроновка), 22.VI.2011 (Бондаренко); ♀, окр. г. Донецк, 2019 г. (Фесенко).

3. *Ammophila sabulosa* (Linnaeus, 1758)

[20]: 72 (Луганская обл., запов. «Провальская степь»); [22]: 10 (Луганская обл., Антрацитовский р-н, с. Дьяково, Славяносербский р-н, с. Трёхизбенка, Донецкая обл., г. Торез); [2]: 55 (Северное Приазовье); [5]: 274 (г. Донецк).

Транспалеарктический полизональный вид [12, 14]. Один из обычных видов на территории Восточной Европы, включая Донбасс, где по относительному обилию занимает первое место среди всех видов данного рода. Автором вид отмечен в различных биотопах, включая приусадебные участки г. Донецка, где самки строят гнезда в старых кучах песка, запасая в гнезда гусениц совок (Noctuidae).

Материал. Россия, ДНР, ♀, г. Донецк, Ворошиловский р-н, 27.VII.2015 (Ишутинова); ♂, там же, 15.VI.2016 (Ляшова); ♂, там же, 24.VII.2000 (Торгунова); ♀, там же, 24.VII.1998 (Хренова); ♂, г. Донецк, Кировский р-н, 18.VII.2006 (Поветкина); ♂, г. Донецк, парк им. Щербакова, 08.VI.2004 (Руденко); ♂, там же, 09.VII.1997; ♀, г. Волноваха, 15.VI.2005 (Абрамова); ♀, Волновахский р-н, Велико-Анадольский лес, 27.VII.1992; ♀, Краснолиманский р-н, окр. с. Яцковка, 1993 г.; ♀, там же, 18.VII.1988; ♀, Марьинский р-н, с. Максимильяновка, 10.VII.2007; ♂, окр. г. Донецк, 2016 г.; ♂, 32 км С г. Артемовск (окр. с. Дроновка), 22.VII.2003 (Быщенко); ЛНР, 2♀, 10 км С-В г. Свердловск (запов. «Провальская степь»), 23.IX.2002 (Мороз).

4. *Ammophila terminata* F. Smith, 1856

[20]: 72 (Ростовская обл., хутор Рогожкино); [22]: 10 (Луганская обл., Славяносербский р-н, с. Трёхизбенка); [3]: 296 (Центральный Донбасс).

Западнопалеарктический пустынно-степной вид [12, 14]. На изучаемой территории, по-видимому, широко распространен.

Материал. Россия, ДНР, ♀, 15 км С-З г. Славянск (окр. с. Богородичное), 22.VII.1971.

2. Род *Podalonia* Fernald, 1927

Всесветно распространенный род, насчитывающий в мировой фауне 66 видов, из которых более половины (42 вида) отмечены в Палеарктике [12, 24]. В фауне России известно 15 видов [24].

Гнездятся в земле, сооружая сходные по строению с видами рода *Ammophila* гнезда. Провизия – гусеницы Noctuidae, Lymantriidae, Notodontidae (в одну ячейку – одна гусеница) [11, 14].

5. *Podalonia affinis* (W. Kirby, 1798)

[20]: 72 (г. Ростов-на-Дону); [22]: 10 (г. Донецк).

Транспалеарктический полизональный вид [12, 14]. На изучаемой территории вид известен по литературным данным [20, 22].

6. *Podalonia fera* (Lepeletier de Saint Fargeau, 1845)

[20]: 72 (г. Ростов-на-Дону).

Турано-средиземноморский вид. На изучаемой территории локально отмечен на южных склонах Донецкой возвышенности, возможно вид встречается по всей территории Северного Приазовья.

Материал. Россия, ЛНР, ♂, Антрацитовский р-н, с. Дьяково, 19.VI.2002 (Коновалов).

7. *Podalonia hirsuta* (Scopoli, 1763)

[20]: 72 (Донецкая обл., Великоанадольская дача, г. Ростов-на-Дону, Ростовская обл., хутор Недвиговка).

Западнопалеарктический, эврибионтный вид [12, 14]. На изучаемой территории вид известен по литературным данным [20].

8. *Podalonia luffi* (E. Saunders, 1903)

[20]: 72 (г. Ростов-на-Дону, Ростовская обл., хутор Недвиговка, Луганская обл., заповедник «Провальская степь»).

Европейско-азиатский южный степной вид [12, 14]. На изучаемой территории, по-видимому, широко распространенный вид.

Материал. Россия, ДНР, ♀, г. Донецк, 08.VI.2014 (Комарницкая); ♂, 15 км С-З г. Славянск (окр. с. Богородичное), 22.VI.1971; ♀, там же, 01.VII.1976.

2. Подсемейство *Sceliphrinae*

3. Род *Sceliphron* Klug, 1801

Небольшой всесветно распространенный род, насчитывающий в мировой фауне 36 видов [24]. В фауне России известно 6 видов [24].

Самки строят из увлажненной почвы одно- и многоячейковые лепные гнезда, которые размещают в различных защищенных от попадания дождевой влаги укрытиях. Провизия – пауки (Aranei) различных семейств. В частности, для вида *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) отмечено запасание пауков из 21 рода и 9 семейств [19].

9. *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870)

[1]: 296–297 (ДНР, г. Донецк); [5]: 275 (ДНР, г. Донецк).

Южноазиатский горный вид с расширяющимся ареалом. С 1979 года этот вид отмечен в Австрии и с тех пор расселился по многим странам Центральной, Южной и Восточной Европы [17, 30]. На территории Восточно-Европейской равнины *S. curvatum* впервые был зарегистрирован в 1999 году в Харьковской области [21]. В настоящее время этот вид широко распространился по всему югу Русской равнины, включая Крым и Северный Кавказ [24] и продолжает распространяться. При этом с 2003 года на Южном берегу Крыма, стал массовым видом [19]. В Донбассе (г. Донецк) автором данный вид был отмечен в 2004 году [1]. На изучаемой территории *S. curvatum* большей частью обитает в селитебных городских и сельских ландшафтах, активно заселяя кварталы городской застройки с многоэтажными домами, а также приусадебные участки в городах и поселках. Гнездование в г. Донецке отмечали в квартирах многоэтажных домов с постоянно открытыми форточками (на потолках, в стопках бумаг и книг, на висящих шторах), а также в различных заброшенных каменных строениях [1]. В этой связи важно отметить сходство мест устройства гнезд этого вида, а также таксономического состава запасаемой в гнезда провизии с таковыми *Sceliphron deformе* (F. Smith, 1856) – восточноазиатского вида, также расширяющего свой ареал в западном направлении.

Материал. Россия, ДНР, ♀, г. Донецк, 21.VIII.2006 (Ялпуга); ♀, там же, 26.VI.2007 (из гнезда) (Ялпуга); ♀, там же, 2012 г.; ♀, там же, 01.VI.2014; ♀, г. Донецк, биологический факультет, 10.VI.2013 (Мартынов); 2♀, г. Донецк, VII.2010 (из гнезда); 2♀, г. Донецк, Путиловский парк, 26.VI.2013 (Амолин); ♀, г. Макеевка, 2019 г.; ♀, 16 км Ю-З г. Мариуполь, пос. Белосарайская коса, 4.VII.2009.

10. *Sceliphron destillatorium* (Illiger, 1807)

[10]: 34 (Запорожская обл., «Обиточная коса»); [22]: 11 (Луганская обл., Антрацитовский р-н, с. Дьяково); [1]: 295–296 (ДНР, г. Донецк); [8]: 83 (ДНР, г. Донецк, ДБС); [5]: 275 (ДНР, г. Донецк).

Древнесредиземский вид, широко распространенный в Средиземноморье (включая Североафриканскую часть), в степной и лесостепной зонах Евразии, на Кавказе, Центральной Азии, на восток до Забайкалья, Монголии и Западного Китая [14, 24]. На территории Русской равнины данный вид широко распространен в степной и лесостепной природных зонах, заходя вдоль речных долин в зону хвойно-широколиственных лесов. На изучаемой территории широко распространенный малочисленный вид, приуроченный к долинам рек и селитебным ландшафтам [1]. В пределах Донецкой возвышенности характерной стацией гнездования этого вида являются склоны степных балок в долинах рек с выходами коренных горных пород, образующих на склонах балок выступающие каменные карнизы под которыми самки *S. destillatorium* строят свои гнезда [1]. В Северном Приазовье этот вид также приурочен к долинам небольших рек, где часто строит гнезда под каменными мостами, в различных каменных строениях, а на Азовском побережье заселяет также глиняные обрывы, устраивая свои гнезда в имеющихся там нишах или заброшенных гнездовых ходах береговой ласточки (*Riparia riparia* (L.)).

Материал. Россия, ДНР, ♀, г. Донецк, парк им. Щербакова, 11.VI.2018; ♀, там же, VII.2004 (Гойдык); ♀, там же, 08.VII.1998; ♂, Буденновский р-н, 09.VII.2011; ♀, 15 км С-З г. Славянск (окр. с. Богородичное), 01.VII.1971; ♂, 32 км С г. Артемовск (окр. с. Дроновка), 23.VI.2011; ♀, Краснолиманский р-н, окр. с. Яцковка (без даты); ♀, 20 км С г. Новоазовск, запов. «Хомутовская степь», 16.VII.2001 (Амолин); ♀, 3 км З г. Новоазовск, 13.VII.2010 (Амолин); ♀, 32 км Ю-З г. Мариуполь, окр. пос. Урзуф, 24.VII.2005 (Никитина).

3. Подсемейство *Sphecinae*

4. Род *Palmodes* Kohl, 1890

Голарктический род, насчитывающий в мировой фауне 20 видов [14]. В фауне России этот род представлен 4 видами [24].

Самки изученных видов строят многоячейковые гнезда в почве, запасая в качестве добычи прямокрылых, в основном *Decticinae* [14].

11. *Palmodes strigosus* (A. Costa, 1858)

[20]: 73 (Ростовская обл., Матвеев Курган–Куйбышево, 4 км Ю станицы Большекрепинская, Донецкая обл., запов. «Хомутовская степь»).

Ареал вида включает Южную и Юго-Восточную Европу, Малую Азию, Кавказ и Закавказье, Казахстан и Центральную и Юго-Западную Азию [14]. На восток распространен до Иркутской области [18]. На изучаемой территории вид известен по литературным данным [20].

5. Род *Prionyx* Vander Linden, 1827

Всесветно распространенный род, насчитывающий в мировой фауне 56 видов, из которых половина известна из Палеарктики [24]. В фауне России отмечено 6 видов [24].

Самки строят в почве одно- и многоячейковые гнезда, запасая в качестве добычи саранчовых (*Acrididae*) [14].

12. *Prionyx kirbii* (Vander Linden, 1827)

[20]: 73 (Ростовская обл., хутор Рогожкино); [22]: 12 (Луганская обл., Славяносербский р-н, с. Трехизбенка).

Пустынно-степной вид [14] ареал которого, охватывает Африку и область Древнего Средиземья. На изучаемой территории вид известен по литературным данным [20, 22].

13. *Prionyx nudatus* (Kohl, 1885)

[20]: 73 (Ростовская обл., хутор Недвиговка, Беглицкая коса); [10]: 34 (Запорожская обл., «Обиточная коса»); [22]: 12 (Луганская обл., Славяносербский р-н, с. Трехизбенка).

Древнесредиземский пустынно-степной вид [14]. На изучаемой территории, по-видимому, широко распространенный вид.

Материал. Россия, ДНР, ♀, 15 км С-З г. Славянск (окр. с. Богородичное), 01.VII.1982 (Залужная); ♂, г. Донецк, Пролетарский р-н, 15.VI.2018 (Кордюкова); ♂, г. Донецк, ДБС, 10.VIII.2015 (Амолин).

14. *Prionyx subfuscatus* (Dahlbom, 1845)

[20]: 73 (г. Ростов-на-Дону); [5]: 275 (ДНР, г. Донецк).

Афротропически-евразийский пустынно-степной вид. На изучаемой территории, по-видимому, широко распространенный вид.

Материал. Россия, ДНР, ♀, г. Донецк, парк им. Щербакова, 21.VII.2000 (Губин); ♀, 32 км С г. Артемовск (окр. с. Дроновка), 13.VII.2003 (Амолин); ЛНР, ♀, окр. пгт Станично-Луганское, 24.IX.2002 (Амолин).

6. Род *Isodontia* Patton, 1880

Всесветно распространенный род, насчитывающий в мировой фауне 62 вида [24]. В фауне России отмечено 3 вида [24].

Самки изученных видов строят гнезда в различных готовых полостях (полые стебли растений, ходы насекомых-ксилофагов в древесине, щели между камнями, полости в почве) [13], сооружая многоячейковые линейные гнезда из растительных материалов. Отмечено гнездование в тростниковых пучках [25]. Провизия – сверчки (*Gryllidae*) и кузнечики (*Tettigoniidae*) [13].

15. *Isodontia mexicana* (de Saussure, 1867)

[9]: 337–339 (ДНР, г. Донецк, ДБС); [5]: 275 (ДНР, г. Донецк).

Центральноамериканский вид, исходный ареал которого охватывает Мексику, США и Центральную Америку [29]. Со второй половины прошлого века этот вид отмечен в Европе, куда случайно был завезен человеком. В настоящее время отмечен во многих странах Европы и Азии (Иран), а также в России [9, 24, 25]. В Донбассе вид впервые был отмечен в 2015 году [9].

7. Род *Sphex* Linnaeus, 1758

Всесветно распространенный род, насчитывающий в мировой фауне 130 видов [24]. В фауне России отмечено 5 видов [24].

Самки строят обычно многоячейковые (реже одноячейковые) гнезда в уплотненной (реже в рыхлой) почве, часто образуя агрегации гнезд, запасая в качестве провизии личинок и имаго кузнечиков (*Tettigoniidae*, *Katydididae*), реже сверчков (*Gryllidae*) и гриллакридид (*Gryllacrididae*) [13, 14].

16. *Sphex flavipennis* Fabricius, 1793

[20]: 72 (Донецкая обл., запов. «Хомутовская степь», Луганская обл., запов. «Провальская степь»); [10]: 34 (Запорожская обл., «Обиточная коса»).

Древнесредиземский вид. На изучаемой территории редкий вид, известный по литературным данным [10, 20].

17. *Sphex funerarius* Gussakovskij, 1934

[20]: 72 (Ростовская обл., повсеместно); [10]: 34 (Запорожская обл., «Обиточная коса»); [22]: 12 (Луганская обл., Антрацитовский р-н, с. Дьяково, Донецкая обл., Первомайский р-н, пос. Ялта); [2]: 30 (Донецкая обл., г. Донецк, Артемовский р-н, окр. с. Дроновка); [8]: 82 (ДНР, г. Донецк, ДБС); [4]: 55 (Северное Приазовье); [5]: 275 (ДНР, г. Донецк).

Западнопалеарктический, эврибионтный вид [12, 14], широко распространенный на изучаемой территории. Данный вид отмечен нами в различных биотопах [2]. Агрегации гнезд автором были отмечены в уплотненной суглинистой почве лишенной травостоя (часто на тропинках). На территории Донецкого ботанического сада питание нектаром имаго отмечали на цветках некоторых видов интродуцентных растений. В частности регулярно на цветках чабера горного (*Satureja montana* L.), при этом на одной учетной куртине растения регистрировали от 6 до 8 одновременно питающихся экземпляров. Также питание нектаром единично наблюдали на цветках *Ziziphora bungeana* Juz [8].

Материал. Россия, ДНР, ♀, г. Донецк, 18.VII.2000 (Гречко); ♀, там же, 2007 г.; ♀, Путиловский парк, 26.VI.2003; ♀, там же, 26.VI.2013; ♀, 2 км В г. Донецк, 6.VII.2002 (Амолин); ♀, г. Донецк, ДБС, 11.VIII.2015 (Амолин); ♀, там же, 26.VI.2024 (Амолин); ♀, г. Енакиево, 01.VII.2006 (Ярмолук); ♀, г. Макеевка, канал Северский Донец – Донбасс,

05.VII.2009 (Балабаева); ♀, 32 км С г. Артемовск (окр. с. Дроновка), 09.VII.2011 (Середа); ♀, Краснолиманский р-н, окр. с. Яцковка, 01.VII.1988.

Представленный выше список роющих ос семейства Sphecidae исследуемой территории не является исчерпывающим, так как изученность данной территории остается слабой, и здесь могут быть осуществлены находки ещё некоторых видов из родов *Ammophila*, *Prionyx*, например, *Ammophila sareptana* Kohl, 1884, *Prionyx kirbii* (Vander Linden, 1827). В то же время здесь выявлено большинство видов ос данного семейства приводимых А. В. Шкуратовым для сопредельной территории Ростовской области (71 %).

Не смотря на то, что среди роющих ос к числу ос-энтомофагов обычно относят большей частью ос-крабронид (Crabronidae) [15], большинство выявленных видов ос-сфецид также являются важными в практическом отношении осами-энтомофагами, например, виды рода *Ammophila*, *Podalonia*, *Sphex*. В частности, автором на приусадебном участке в г. Донецке был отмечен факт провиантирования самками *Ammophila sabulosa* своих гнезд гусеницами совок, собранными в пределах приусадебного участка на различных культурных растениях. В этой связи для привлечения различных видов ос-энтомофагов из числа роющих ос-сфецид и крабронид перспективно на приусадебных участках создавать подходящие условия для их гнездования. Например, для землероющих видов насыпать песчаные кучи высотой 50–60 см предварительно уплотняя их и создавая пологие и горизонтальные участки, которые активно заселяют многие виды роющих ос.

Отмеченные за последние десятилетия находки двух инвазивных видов (*Sceliphron curvatum*, *Isodontia mexicana*) требуют проведения специальных мониторинговых исследований касательно их влияния на местную фауну ос-сфецид. В то же время не исключено появление новых инвазивных видов, например, *Sceliphron deformе*, или отмеченного относительно недавно в Крыму, центральноазиатского вида *Chalybion turanicum* (Gussakovskij, 1935) [26, 28] и австралийско-ориентального *Isodontia nigella* (F. Smith, 1856) [27].

Выводы

На территории Северного Приазовья и Донецкой возвышенности в результате анализа литературных данных и многолетних собственных исследований выявлено 17 видов роющих ос-сфецид (Sphecidae) относящихся к 7 родам: *Ammophila campestris*, *A. heydeni*, *A. sabulosa*, *A. terminata*, *Podalonia affinis*, *P. fera*, *P. hirsuta*, *P. Iuffi*, *Sceliphron curvatum*, *S. destillatorium*, *Palmodes strigulosus*, *Prionyx kirbii*, *P. nudatus*, *P. subfuscatus*, *Isodontia mexicana*, *Sphex flavipennis*, *S. funerarius*. Из них 5 видов (*Podalonia affinis*, *P. hirsuta*, *Palmodes strigulosus*, *Prionyx kirbii*, *Sphex flavipennis*) отмечены по литературным данным. Два вида (*Sceliphron curvatum* и *Isodontia mexicana*) относятся к числу инвазивных видов, появление которых на исследуемой территории произошло вследствие инвазии на Европейский субконтинент и последующего распространения по его территории.

К числу обычных видов следует отнести: *Ammophila sabulosa* (Linnaeus, 1758), *A. heydeni* Dahlbom, 1845, *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870), *S. destillatorium* (Illiger, 1807), *Sphex funerarius* Gussakovskij, 1934. При этом *Ammophila sabulosa* и *Sceliphron curvatum* заселяют приусадебные участки, где могут гнездиться при наличии подходящих условий.

Среди выявленных видов, к числу ос-энтомофагов имеющих практическое значение как истребителей насекомых-вредителей культурных растений следует отнести все виды родов *Ammophila*, *Podalonia*, *Prionyx* и *Sphex*.

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2024-528 от 24.04.2024 г. на реализацию КНП по приоритетным направлениям научно-технологического развития).

Список литературы

1. Амолин А. В. К изучению стадий гнездования ос рода *Sceliphron* Klug (Hymenoptera, Sphecidae) в г. Донецке и его окрестностях // Материалы I Международ. науч. конф.

«Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности» (16–18 мая 2016 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, Т. 1. Физико-математические, технические науки и экология. 2016. С. 295–297. EDN: YUAOYN.

2. Амолин А. В. Находки некоторых редких видов ос (Hymenoptera: Bethyridae, Sapygidae, Scoliididae, Tiphiidae, Mutillidae, Pompilidae, Vespidae, Sphecidae, Crabronidae) на территории Донецкой и Луганской областей // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 1–2. С. 25–33. EDN: YTHVL.

3. Амолин А. В. Комплекс псаммофильных видов сколиидных, веспоидных и роющих ос (Hymenoptera: Scoliididae, Vespidae, Sphecidae, Crabronidae) Центрального Донбасса // Материалы IV междунар. науч. конф. «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (31 октября 2019 г.). Т. 2. Химико-биологические науки / Под общ. ред. проф. С. В. Беспаловой. Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. С. 295–297. EDN: HNJLM.

4. Амолин А. В. Обзор фауны ос семейств Scoliididae, Mutillidae, Pompilidae, Vespidae, Sphecidae и Crabronidae (Hymenoptera: Vespomorpha) Северного Приазовья // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 49–59. EDN: BGOKYW.

5. Амолин А. В. Роющие осы (Hymenoptera: Apoidea: Spheciformes) г. Донецка и его окрестностей // Материалы V междунар. науч. конф. «Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (17–18 ноября 2020 г.). Т. 2. Химико-биологические науки / Под общ. ред. проф. С. В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – С. 274–277. EDN: MUILZA.

6. Амолин А. В. Некоторые редкие виды ос и пчел (Hymenoptera: Aculeata) Донбасса и пути сохранения их популяций // Биоразнообразие беспозвоночных и позвоночных животных особо охраняемых природных территорий Донбасса. Сборник научных работ / Отв. ред. Е. В. Прокопенко. Донецк: Цифровая типография, 2021. Вып. 1. С. 4–23.

7. Амолин А. В., Кузичева Н. Н. Одинокые осы и пчелы (Hymenoptera: Vespidae, Crabronidae, Colletidae, Megachilidae, Apidae), заселяющие искусственные гнездовые конструкции на приусадебных участках Донбасса (на примере городов Донецка и Харцызска) // Материалы I Международ. научно-практ. конф. «Современные экологические проблемы и пути их решения» посвященной юбилею Луганского национального аграрного университета (22–23 ноября 2016 г.). Луганск: ГОУ ЛНР ЛНАУ, 2016. С. 47–52.

8. Амолин А. В., Кустова О. К. Изучение насекомых-опылителей ароматических растений интродуцированных в Донецком ботаническом саду // Промышленная ботаника. 2017. Вып. 17. С. 78–88.

9. Амолин А. В., Мартынов В. В., Никулина Т. В. *Isodontia mexicana* (de Saussure, 1867) (Hymenoptera: Sphecidae) – новый инвазивный вид роющих ос в фауне Донбасса // Евразийский энтомолог. журнал. 2018. 17(5). С. 337–339. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.17.5.04>.

10. Горобчишин В. А. Ріючі оси (Hymenoptera, Sphecidae) заказника «Обиточна коса» // Сучасні проблеми зоологічної науки. «Наукові читання, присвячені 170-річчю заснування кафедри зоології та 100-річчю з дня народження професора О. Б. Кістяківського»: Матеріали Всеукр. наук. конф. (Київ – Канів, 16–18 вересня 2004 р.). Київ: КНУ, 2004. С. 33–34.

11. Казенас В. Л. Роющие осы (Hymenoptera, Sphecidae) Юго-Восточного Казахстана // Труды ВЭО. 1972. Т. 55. С. 93–186.

12. Казенас В. Л. Зоогеографический анализ фауны роющих ос (Hymenoptera, Sphecidae) Казахстана и Средней Азии. Алма-Ата: Ин-т зоологии АН Казахской ССР, 1986. 35 с.

13. Казенас В. Л. Фауна и биология роющих ос (Hymenoptera, Sphecidae) Казахстана и Средней Азии. Алматы: КазгосИНТИ, 2001. 334 с.

14. Казенас В. Л. Роющие осы (Hymenoptera, Sphecidae) Казахстана // Tethys Entomological Research. 2002. Vol. IV. С. 1–174.

15. Колесников В. А. Роющие осы (Hymenoptera, Sphecidae) Брянской области и их значение как энтомофагов // Энтомологическое обозрение. 1977. Т. 56. № 2. С. 315–325.

16. Преображенский В. С. Очерки природы Донецкого края. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 1–198.
17. Прокофьев А. М., Скоморохов М. О. *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) – новый для фауны России инвазийный вид роющих ос (Hymenoptera: Sphecidae) // Русский энтомологический журнал. 2010. Т. 9. № 1. С. 67–70.
18. Проценко Ю. В., Фатерыга А. В., Иванов С. П., Пузанов Д. В. Роющие осы (Hymenoptera: Apoidea: Ampulicidae, Sphecidae) коллекции Таврического национального университета им. В. И. Вернадского // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2012. 6. С. 50–61.
19. Фатерыга А. В., Ковблюк Н. М. Экология гнездования роющей осы *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) (Hymenoptera, Sphecidae) на Украине // Евразийский энтомологический журнал. 2013. 12 (3). С. 309–314.
20. Шкуратов А. В. Роющие осы (Hymenoptera: Sphecidae) Ростовской области и прилегающих территорий // Известия Харьковского энтомологического общества. 2003 (2004). Т. XI, вып. 1–2. С. 70–85.
21. Шоренко К. И. Новые данные по фауне роющих ос (Apoidea: Ampulicidae, Sphecidae, Crabronidae) Украины // Известия Харьковского энтомологического общества. 2002 (2003). Том X, вып. 1–2. С. 96–98.
22. Шоренко К. И., Коновалов С. В. Новые данные о роющих осах (Hymenoptera: Ampulicidae, Sphecidae, Crabronidae) фауны Украины // Українська ентомофауністика. 2010. 1(2). С. 9–32.
23. Danilov Yu. N. The digger wasps of the genus *Prionyx* Vander Linden (Hymenoptera: Sphecidae) of Russia and Central Asia, with a key to species, new synonymies, and lectotype designations // Zootaxa. 2012. 3526. P. 59–71.
24. Danilov Yu. N. Family Sphecidae – Sphecid Digger Wasps. In: Lelej A. S., Proshchalykin M. Yu., Loctionov V. M. (Eds.). Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphita and Apocrita: Aculeata. Proceedings of the Zoological Institute Russian Academy of Sciences. Supplement 6. 2017. P. 212–216.
25. Fateryga A. V., Protsenko Yu. V., Zhidkov V. Yu. *Isodontia mexicana* (Hymenoptera, Sphecidae), a new invasive wasp species in the fauna of Ukraine reared from trap-nests in the Crimea. Vestnik Zoologii. 2014. 48 (2). P. 185–188. <https://doi.org/10.2478/vzoo-2014-0020>.
26. Fateryga A. V., Kovblyuk M. M., Kvetkov R. S. The first data on the nesting biology of the invasive blue nest-renting wasp, *Chalybion turanicum* (Gussakovskij, 1935) (Hymenoptera, Sphecidae, Sceliphrinae) in the Crimea. Acta Biologica Sibirica, 2020. 6. P. 571–582. <https://doi.org/10.3897/abs.6.e57911>.
27. Fateryga A. V., Ivanov S. P., Mokrousov M. V., Fateryga V. V. The first record of the Far Eastern grass-carrying wasp *Isodontia nigella* (F. Smith, 1856) (Hymenoptera: Sphecidae: Sphecinae) from the Crimea. Far Eastern Entomologist. 2023. 481. P. 14–24. <https://doi.org/10.25221/fee.481.3>.
28. Mokrousov M. V., Shorenko K. I., Shlyakhtenok A. S. New data on the Palaearctic digger wasps (Hymenoptera: Sphecidae, Crabronidae) // Far Eastern Entomologist. 2019. No 396. P. 10–16. <https://doi.org/10.25221/fee.396.2>.
29. Notton D. G. Grass-carrying wasp, *Isodontia mexicana* (de Saussure), genus and species new to Britain (Hymenoptera: Sphecidae) // British Journal of Entomology and Natural History. 2016. Vol. 29. P. 241–245.
30. Schmid-Egger C. *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) in Europa mit einem Bestimmungsschlüssel für die europäischen und mediterranen *Sceliphron*-Arten (Hymenoptera, Sphecidae) // Bembix. 2005. No. 19. S. 7–28.

Поступила в редакцию 31.05.2025 г.

Amolin A. V. Digger wasps of the family Sphecidae (Hymenoptera: Spheciformes) in the Northern Cis-Azov region and Donetsk Upland. – The article presents results of long-term research on the fauna of digger wasps of

the family Sphecidae in the Northern Cis-Azov region and Donetsk Upland. As a result of the analysis of literature data, as well as our own collections of wasps, the presence of 17 species from 7 genera of wasps of the family Sphecidae was determined (*Ammophila campestris*, *A. heydeni*, *A. sabulosa*, *A. terminata*, *Podalonia affinis*, *P. fera*, *P. hirsuta*, *P. luffi*, *Sceliphron curvatum*, *S. destillatorium*, *Palmodes strigosus*, *Prionyx kirbii*, *P. nudatus*, *P. subfuscatus*, *Isodontia mexicana*, *Sphex flavipennis*, *S. funerarius*). Two species among above mentioned, namely *Sceliphron curvatum* and *Isodontia mexicana*, are invasive species registered in the study area in the recent 19 (*Sceliphron curvatum*) and 10 years (*Isodontia mexicana*). Most of the identified species are practically important entomophagous wasps that regulate the numbers of some species of insect pests of cultivated plants.

Keywords: Digger wasps, fauna, Northern Cis-Azov, Donetsk Upland.

Амолин Александр Валерьевич

зав. зоологическим музеем, кафедра зоологии и экологии ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, ДНР, РФ.

E-mail: a.amolin@mail.ru

ORCID: 0009-0006-7672-8999

AuthorID: 1046643

Amolin Alexander Valeryevich

Head of the Museum, department of zoology and ecology, Donetsk State University, Donetsk, DPR, Russian Federation.

© А. В. Ольшевская, В. Н. Шевченко, Т. А. Мальцева, Д. С. Саркисян, Э. Э. Чолутаева

**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РОСТА РАЗНОПОЛЫХ ОСОБЕЙ
АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА *CHERAX QUADRICARINATUS*
(von MARTENS, 1868) ПРИ ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН БАКТЕРИОЦИНА**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Россия, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1

Ольшевская А. В., Шевченко В. Н., Мальцева Т. А., Саркисян Д. С., Чолутаева Э. Э. Изучение особенностей роста разнополых особей австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) при введении в рацион бактериоцина. – В работе представлены материалы по результатам изучения влияния низина на рост и выживаемость самок и самцов австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus*. Эксперимент проводился в установках замкнутого водоснабжения на особях, имеющих четко выраженные признаки полового диморфизма и разделенных на контрольные и опытные группы. В рацион опытных групп был добавлен низин, являющийся представителем класса лантибиотиков типа А, в количестве 0,1 %. Продолжительность эксперимента составила 30 суток. В результате зафиксировано улучшение показателей роста: средняя масса самок в опытной группе увеличилась на 33,6 %, самцов – на 26,1 % по сравнению с контрольной группой. Выживаемость также повысилась до 86,7 % у самок и 83,3 % у самцов против 56,7 % и 76,7 % соответственно в контрольных группах. Полученные данные представляют практическую ценность для развития экологически безопасных технологий в промышленном разведении ракообразных.

Ключевые слова: аквакультура, *Cherax quadricarinatus*, биотехнология, темпы роста, выживаемость, бактериоцины, низин, лантибиотики.

Введение

Сектор аквакультуры во всем мире показывает наиболее динамичный рост объемов производства среди других отраслей сельского хозяйства. Смена полунинтенсивного метода выращивания на интенсивный способствует повышению частоты появления заболеваний различной этиологии, в особенности, бактериальной природы [13]. Для снижения экономических потерь на предприятиях используются антибиотики как средство профилактики и лечения заболеваний [2]. В аквакультуре применяется более 60 типов антибиотиков [10], среди которых окситетрациклин, сульфадиазин, флорфеникол, сульфадиметоксин, эритромицин, амоксициллин, энрофлоксацин и др. Нерациональное использование антибактериальных средств создает селекционное давление на популяции микроорганизмов в системах выращивания и способствует формированию резистентных штаммов бактерий. В связи с этим аквакультура признана «генетическим очагом» передачи генов резистентности. Среди бактерий, обладающих устойчивостью, выделяют *Vibrio* spp., *Aeromonas* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *Streptococcus* spp., *Exiguobacterium* spp. и т. д. Чаще других в системах аквакультуры идентифицируют следующие гены устойчивости: tetA, tetB, tetK, tetM (резистентность к тетрациклину), qnrA, qnrB, qnrS (хинолоны), sulI (сульфаниламиды) [5].

Устойчивость бактерий к антибиотикам признается глобальной угрозой не только в индустрии рыбоводства, но в медицине [6]. В связи с возникшей угрозой все большее количество исследовательских работ направлено на поиск альтернативных средств антибактериальной терапии в аквакультуре. Одним из таких средств могут стать бактериоцины, которые ранее использовались только в пищевой промышленности в качестве консерванта [12]. Способность бактериоцинов ингибировать патогенные бактерии может стать основой создания нового класса антибактериальных средств в аквакультуре Российской Федерации. Кроме того, в ряде научных источников приводятся сведения о

благоприятном воздействии бактериоцинов на темпы роста и показатели продуктивности сельскохозяйственных животных.

Аквакультура в Российской Федерации в настоящее время характеризуется динамичным развитием, одним из ключевых аспектов которого является расширение перечня культивируемых видов. Особый интерес представляет австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), который характеризуется рядом преимуществ по сравнению с автохтонными видами раков: ускоренные темпы роста, повышенная выживаемость, улучшенные потребительские качества. Несмотря на растущую популярность данного вида в аквакультуре Российской Федерации и зарубежных стран, остаются недостаточно изученными вопросы, связанные с влиянием различных кормовых добавок на его рыбоводно-биологические показатели. В частности, требуется более детальное исследование воздействия биологически активных веществ на рост и выживаемость *C. quadricarinatus*. В данном контексте особый интерес представляют лантибиотики, в частности низин, обладающий антимикробными свойствами. Целью настоящего исследования являлась оценка влияния добавления низина в рацион на темпы роста и выживаемость самок и самцов *C. quadricarinatus*.

Материал и методы исследования

Исследование одобрено Локальным независимым этическим комитетом ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ) (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация) (протокол № 6 от 27.09.2024 г.). В ходе экспериментов соблюдались рекомендации по гуманному и этичному обращению с лабораторными животными, в том числе, в соответствии с Директивой 2010/63/ЕС Европейского парламента и совета от 22.09.2010 г. «О защите животных, используемых в научных целях».

Научно-исследовательские работы проведены в лаборатории индустриальной аквакультуры ДГТУ. Материалом для исследования послужили одновозрастные (≈ 5 месяцев) особи австралийского красноклешневого рака *C. quadricarinatus*, прошедшие предварительный морфобиологический скрининг. Критериями отбора служили четко выраженные признаки полового диморфизма в соответствии с данными, указанными в работе Э. Э. Чолутаевой с соавт. [1]. Особи с интерсексуальными характеристиками были исключены из выборки. Признаки нефункционального гермафродитизма определялись в соответствии с морфологическими параметрами, представленными в работе Chuntai Nong с соавт. [11]. Дизайн эксперимента состоял из нескольких составляющих этапов, первый из которых заключался в рандомизации особей методом случайной выборки с формированием 4 групп, среди которых 2 контрольные и 2 опытные (самки и самцы). Средняя масса самок в контрольной группе ($n = 30$ экз.) составила $19,03 \pm 4,77$ г, длина – $9,04 \pm 7,53$ см, в экспериментальной группе ($n = 30$ экз.) $18,33 \pm 4,93$ г и $8,87 \pm 7,87$ см соответственно. Самцы характеризовались следующими параметрами: в контрольной группе ($n = 30$ экз.) – $17,64 \pm 4,08$ г, $8,48 \pm 5,94$ см, в экспериментальной ($n = 30$ экз.) – $21,2 \pm 2,89$ г, $9,19 \pm 5,89$ см. Все особи имеют лабораторное происхождение, получение исходного посадочного материала (преднерестовое и нерестовое содержание производителей) осуществлялось в соответствии с рекомендациями, указанными в работе Joly Ghanawi и I. Patrick Saoud [3].

Перед началом эксперимента все сформированные группы проходили обязательный адаптационный период, продолжительность которого составляла 21 сутки. В течение этого времени особи содержались в стандартных условиях, соответствующих их биологическим требованиям: температурный режим поддерживался на уровне 26°C , кислотность воды (pH) составляла не менее 7 усл. ед., а концентрация растворенного кислорода (O_2) – >5 мг/л. Режим фотопериода установлен был как 12 часов света и 12 часов темноты (12L:12D). Предэкспериментальное выдерживание особей осуществлялось в специализированных лабораторных установках, позволяющих проводить независимые эксперименты в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с индивидуальной механической и биологической фильтрацией оборотной воды в каждой емкости. Рабочая площадь каждой емкости,

изготовленной из полипропилена, составляла 1 м², уровень воды поддерживался на отметке 30 см. Поддержание оптимальной температуры воды осуществлялось с использованием внешнего проточного нагревателя iSTA External Heater (Ista, Китай), мощностью 150 Вт. Дополнительное насыщение воды кислородом (O₂) осуществлялось при помощи двухканального компрессора Silver Berg Flow 480 Dual (Silver Berg, Китай).

Ежедневно проводились комплексные наблюдения, включающие контроль за основными гидрохимическими показателями воды, наблюдение за поведенческими реакциями особей и оценку потребления корма. Измерения концентрацией растворенного в воде кислорода осуществлялись с использованием портативного прибора Анион-7040 (Инфраспек-Аналит НПП, Россия). Критериями успешного завершения адаптационного периода служили стабильное потребление корма на уровне не менее 95 % от заданной нормы, отсутствие видимых признаков стресса у животных, а также нормальная двигательная активность всех особей.

Кормление осуществлялось специализированными гранулированными кормами в строго дозированных количествах (4 % от биомассы) с соблюдением установленного временного режима. Корм состоял из следующих компонентов: мука рыбная, мука из личинок хирономид, мука мясокостная, дрожжи кормовые, глютен пшеничный, мука из высушенных листьев дуба, мука кукурузная, мука пшеничная, мука из люцерны, аттрактант, жир рыбий, соли кальция. Изготовление партий кормов осуществлялось в лаборатории «Технологическая линия производства кормов» ДГТУ и состояло из следующих этапов: взвешивание компонентов в соответствии с рецептурой, смешивание сухих компонентов кормов, увлажнение до массовой доли влаги 12 %, гранулирование, охлаждение и просеивание гранул и обмасливание гранул под вакуумом.

После завершения адаптационного периода особи были оставлены в исходных рыбоводных емкостях. По окончании стартовой бонитировки был начат эксперимент продолжительностью 30 суток. В течение экспериментального периода контрольная группа продолжала получать стандартный рацион, идентичный используемому в адаптационной фазе. В рацион опытных групп был добавлен бактериоцин низин (STOING, Китай) в количестве 0,1 %. Бактериоцин использовался в виде сухого порошка, содержащий 2,5 % низина в хлориде натрия. Обобщенно схема эксперимента представлена на рисунке 1.

В ходе бонитировочных работ проводили измерения массы каждой особи (г) при помощи весов BEL LG-2202i (ChangZhou XingYun Electronic Equipment Co., Китай), биологическую длину каждой особи (см) измеряли с использованием штангенциркуля с погрешностью измерений $\pm 0,03$ мм. Все манипуляции с животными проводились с соблюдением стандартных биотехнических требований, работы осуществлялись с использованием перчаток из высокопрочного поливинилхлорида (ПВХ) с нанесением крупной латексной крошки, что позволяет минимизировать хэндлинг в ходе осуществления измерений.

Для оценки влияния введения в рацион бактериоцина проводили расчет основных рыбоводно-биологических параметров, в том числе в соответствии с подходом, указанным в работе Ze-Long Zhang с соавт. [14]:

– коэффициент упитанности по Фультону (КУ, усл. ед.) согласно формуле:

$$Q\Phi = \frac{m \cdot 100}{l^3},$$

– индивидуальный прирост массы (WG_i, г) с применением формулы:

$$WG_i = m_1 - m_0,$$

– выживаемость (S, %) оценивали с применением формулы:

$$S = 100 * \frac{N_1}{N_0},$$

где m – средняя индивидуальная масса, г;

m_0 – средняя индивидуальная масса в начале периода, г;

m_1 – средняя индивидуальная масса в конце периода, г;

l – общая длина, см;

N_0 – количество особей в начале периода, экз.;

N_1 – количество особей в конце периода, экз.

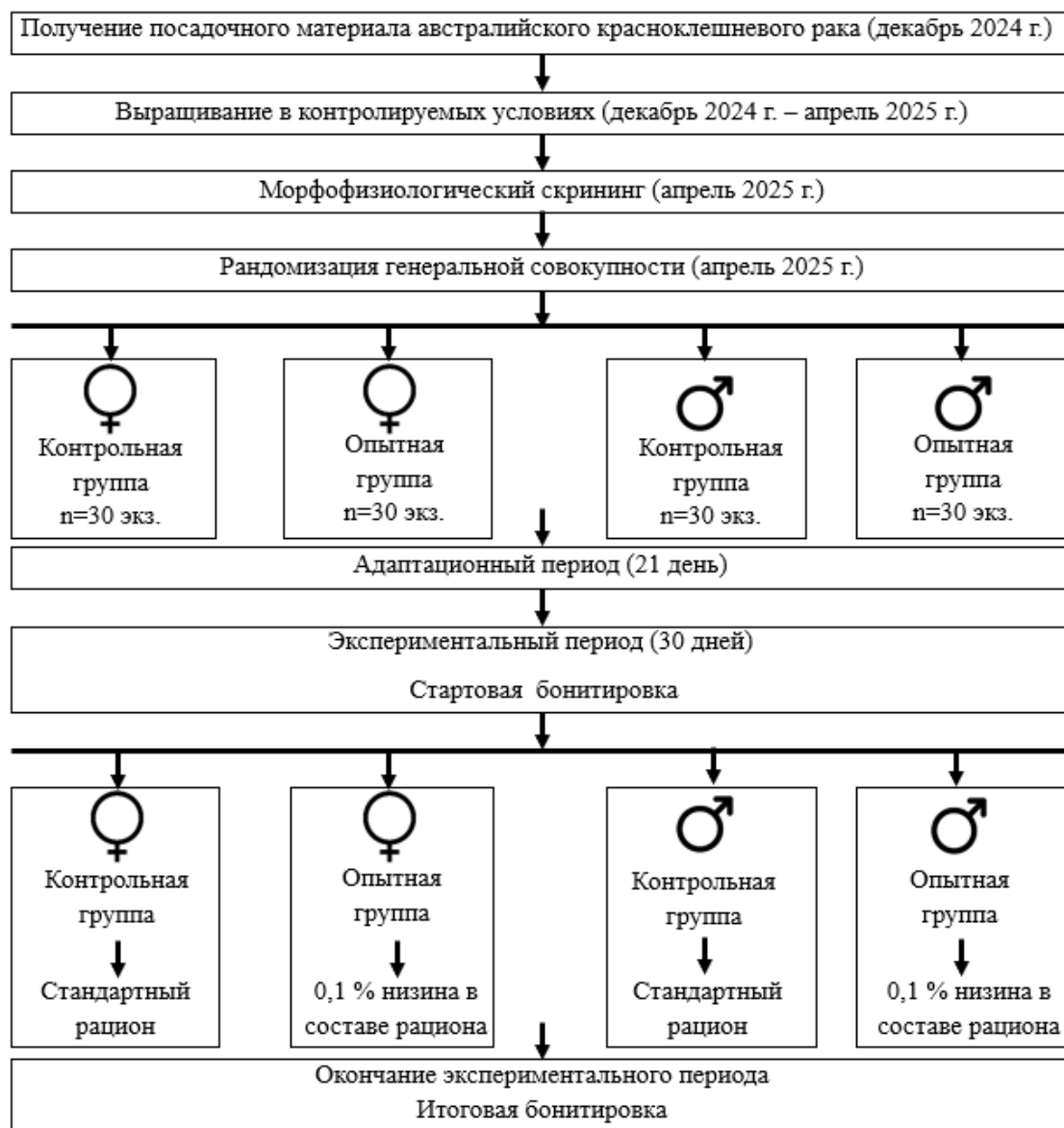


Рис. 1. Обобщенная схема проведения эксперимента. ♀ – самки, ♂ – самцы

Все полученные данные были подвергнуты статистическому анализу с использованием программного пакета STATISTICA 12.0 (StatSoft, США). Проверка распределения данных на нормальность проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Для оценки достоверности различий между выборками был применен U-критерий Манна-Уитни. Различия между группами считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$. В тексте и таблицах данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$).

Результаты и обсуждение

Выживаемость животных после адаптационного периода составила 100 %. В ходе экспериментального периода температурный режим во всех емкостях был оптимальным и варьировался в диапазоне 25–26,5 °С. Режим кислотности среды (pH) также был

оптимальным для содержания половозрелых австралийских красноклешневых раков и составлял более 7 усл. ед. Концентрация растворенного в воде кислорода (O_2) за период наблюдений не опускалась ниже 5 мг/л, что соответствует рекомендациям по содержанию, указанным в работе Phillip J. Naubrock с соавт. [4]. Усредненные значения анализируемых параметров представлены на рисунке 2.

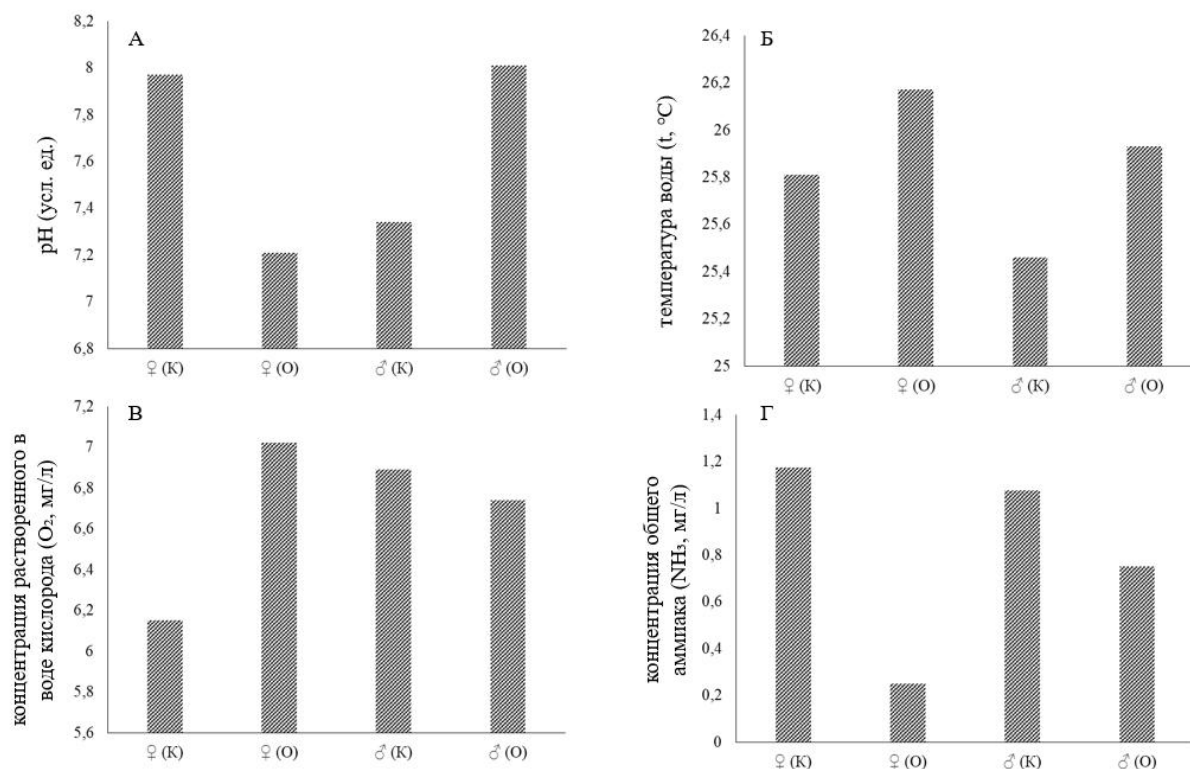


Рис. 2. Усредненные значения основных параметров водной среды *C. quadricarinatus* в экспериментальный период:

К – контрольная группа, О – опытная группа, ♀ – самки, ♂ – самцы

Применение бактериоцинов в сельском хозяйстве рассматривается как перспективное направление для контроля патогенной микрофлоры у сельскохозяйственных животных. Кроме того, ряд исследований демонстрирует, что введение определенных бактериоцинов может стимулировать рост животных. В частности, исследование В. Кierończyk и соавт. показало, что добавление низина и саломидина в рацион цыплят-бройлеров способствует улучшению показателей роста и эффективности использования корма. Помимо прямого антимикробного действия, эти соединения оказывают модулирующее влияние на состав кишечной микрофлоры, что может вносить вклад в наблюдаемые положительные эффекты [8]. В исследовании Damian Józefiak и соавт. был выявлен дозозависимый эффект влияния низина на ростовые показатели бройлеров. Авторы подчеркивают, что включение данного антимикробного пептида в кормовые рационы представляет собой перспективную стратегию в современном птицеводстве, направленную на оптимизацию конверсии корма и стимулирование роста цыплят-бройлеров [7]. В другой научной работе включение низина в рацион цыплят-бройлеров также способствовало достоверному повышению ростовых показателей и улучшению кажущейся усвояемости сырого протеина на уровне подвздошной кишки. При этом минеральный состав большеберцовой кости оставался неизменным, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния добавки на костную ткань. Отсутствие изменений биохимических параметров крови позволяет сделать вывод о нейтральном воздействии низина на основные метаболические процессы и иммунологический статус птицы [9]. Полученные данные свидетельствуют о потенциальной эффективности

применения низина в качестве функциональной кормовой добавки для повышения продуктивности в сельском хозяйстве. В отечественных работах отсутствуют исследования, направленные на анализ особенностей рыбоводно-биологических показателей объектов аквакультуры при введении в рацион низина. В рамках нашего исследования была предпринята попытка оценить возможные изменения размерно-массовых характеристик и выживаемость при введении в рацион разнополых групп австралийского красноклешневого рака. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Показатели роста разнополых групп австралийского красноклешневого рака
Cherax quadricarinatus при введении в рацион низина**

Критерий, ед. изм.	Группа животных			
	контрольная		опытная	
	♀	♂	♀	♂
Средняя индивидуальная масса \pm ошибка среднего (диапазон min–max) (m), г	$18,93 \pm 3,61$ (10,4–27,7)	$20,13 \pm 4,65$ (14,7–29,1)	$25,29 \pm 3,53$ (18,7–32,9)	$25,38 \pm 1,92$ (19,8–33,9)
Общая длина \pm ошибка среднего (диапазон min–max) (L), см	$8,7 \pm 0,59$ (7,15–9,85)	$9,11 \pm 0,72$ (7,01–10,30)	$9,93 \pm 0,49$ (8,81–11,01)	$10,22 \pm 0,56$ (9,01–12,49)
Коэффициент упитанности по Фультону (Q_F), усл. ед.	$2,83 \pm 0,16$ (2,36–3,13)	$2,51 \pm 0,23$ (1,92–2,97)	$2,56 \pm 0,14$ (2,23–2,89)	$2,41 \pm 0,29$ (1,49–2,98)
Индивидуальный прирост массы (WGt), г	1,3	1,1	6,96	4,14
Индивидуальный прирост массы (RGMi), %	7,37	5,78	37,97	19,49
Индивидуальный прирост длины (WGl), см	0,24	0,08	1,07	1,08
Индивидуальный прирост длины (RGMl), %	2,84	0,88	12,08	11,81
Коэффициент выживаемости (S), %	56,7	76,7	86,7	83,3

Примечание – ♀ – самки, ♂ – самцы

Результаты статистического анализа подтверждают достоверность положительного влияния низина на темпы роста *C. quadricarinatus*. Конечная масса тела особей в опытных группах достоверно превышала таковую в контрольных группах: у самок на 33,6 % ($p < 0,001$), у самцов на 26,1 % ($p < 0,001$). Аналогичная статистически значимая динамика наблюдалась и для показателя конечной длины тела: прирост у самок в опытной группе был на 14,1 % выше ($p < 0,001$), у самцов – на 12,2 % выше ($p < 0,001$) по сравнению с контролем.

Статистический анализ также подтвердил изменение коэффициента упитанности. У самок в контрольной группе значение данного показателя было достоверно выше, чем в опыте ($p < 0,001$), в то время как у самцов различия между контрольной и опытной группой оказались статистически незначимыми ($p = 0,121$). Это свидетельствует о различном характере ростовых процессов у разнополых особей под воздействием изучаемой добавки: у самок прирост происходил в большей степени за счет линейного роста, а у самцов наблюдался более сбалансированный рост массы и длины.

Наблюдаемое повышение выживаемости в опытных группах (86,7 % у самок и 83,3 % у самцов) по сравнению с контрольными (56,7 % и 76,7 % соответственно) сопровождалось важной особенностью. Анализ причин гибели особей показал, что все случаи были связаны с проявлениями каннибализма среди особей, что подтверждалось наличием гастролитов (желудочных жерновков) в рыбоводных емкостях, которые являются диагностическим признаком поедания одних особей другими.

Наибольшая активность каннибализма регистрировалась в ранний постлиночный период, что согласуется с повышенной уязвимостью раков в это время. Наличие свободных экзувиев (сброшенных панцирей) в емкостях служило дополнительным подтверждением прохождения линьки у особей. Эти данные могут указывать на то, что введение низина в рацион могло косвенно снижать стрессовую нагрузку, уменьшая частоту каннибализма. Однако для точного установления механизмов наблюдаемого эффекта требуются дальнейшие исследования.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено положительное воздействие бактерицина класса лантибиотиков типа А – низина на рост и выживаемость разнополых групп австралийского красноклешневого рака *C. quadricarinatus*. Результаты показали, что добавление низина в рацион способствовало увеличению средней индивидуальной массы особей: у самок на 33,6 %, у самцов на 26,1 % по сравнению с контрольными группами. Кроме того, наблюдалось повышение выживаемости в опытных группах (86,7 % у самок и 83,3 % у самцов), что может быть связано с косвенным снижением стрессовой нагрузки и уменьшением проявлений каннибализма, особенно в постлиночный период. Полученные результаты согласуются с исследованиями, проведенными на других видах сельскохозяйственных животных, где низин также демонстрировал стимулирующее действие на рост и продуктивность. Однако механизмы влияния требуют дальнейшего изучения, особенно в контексте модуляции кишечной микробиоты и усвояемости кормов.

Работа проведена в рамках выполнения проекта «Разработка персонифицированных кормов нового поколения с растительными и пробиотическими добавками для повышения выживаемости и улучшения здоровья рыб» (FZNE-2023-0003).

Список литературы

1. Чолутаева Э. Э., Саркисян Д. С., Ковальчук Д. Ю., Шевченко В. Н., Ольшеская А. В. Опыт проведения нереста у австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) в искусственных условиях // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2025. № 2. С. 134–144.
2. Cabello F. C., Godfrey H. P., Tomova A., Ivanova L., Dölz H., Millanao A., Buschmann A. H. Antimicrobial use in aquaculture re-examined: its relevance to antimicrobial resistance and to animal and human health // Environmental microbiology. 2013. Vol. 15, No 7. P. 1917–1942.
3. Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) // Aquaculture. 2012. Vol. 358. P. 183–195.
4. Haubrock P. J., Oficialdegui F. J., Zeng Y., Patoka J., Yeo D. C. J., Kouba A. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots // Reviews in Aquaculture. 2021. Vol. 13, No 3. P. 1488–1530.
5. Hossain A., Habibullah-Al-Mamun M., Nagano I., Masunaga S., Kitazawa D., Matsuda H. Antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and resistance genes in aquaculture: risks, current concern, and future thinking // Environmental Science and Pollution Research. 2022. P. 1–22.
6. Hossain A., Raknuzzaman M., Tokumura M. Coronavirus (COVID-19) pandemic: concern about misuse of antibiotics // Journal of Biomedical Analytics. 2020. Vol. 3, No 2. P. 19–23.
7. Józefiak D., Kierończyk B., Juśkiewicz J., Zduńczyk Z., Rawski M., Długosz J., Sip A., Højberg O. Dietary nisin modulates the gastrointestinal microbial ecology and enhances growth performance of the broiler chickens // PloS one. 2013. Vol. 8, No 12. P. e85347.
8. Kierończyk B., Pruszyńska-Oszmerek E., Świątkiewicz S., Rawski M., Długosz J., Engberg R. M., Józefiak D. The nisin improves broiler chicken growth performance and interacts with salinomycin in terms of gastrointestinal tract microbiota composition // J. Anim. Feed Sci. 2016. Vol. 25, No 4. P. 309–316.
9. Kierończyk B., Sassek M., Pruszyńska-Oszmerek E., Kołodziejewski P., Rawski M., Świątkiewicz S., Józefiak D. The physiological response of broiler chickens to the dietary supplementation of the bacteriocin nisin and ionophore coccidiostats // Poultry science. 2017. Vol. 96, No 11. P. 4026–4037.
10. Lulijwa R., Rupia E. J., Alfaro A. C. Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers // Reviews in Aquaculture. 2020. Vol. 12, No 2. P. 640–663.

11. Nong C., Chen Y., Yang H., Chen N., Tian C., Li S., Chen H. Phenotypic sorting of individual male and female intersex *Cherax quadricarinatus* and analysis of molecular differences in the gonadal transcriptome // Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics. 2024. Vol. 49. P. 101194.
12. Pereira W. A., Mendonça C. M. N., Urquiza A. V., Marteinsson V. P., LeBlanc J. G., Cotter P. D., Oliveira R. P. Use of probiotic bacteria and bacteriocins as an alternative to antibiotics in aquaculture // Microorganisms. 2022. Vol. 10, No 9. P. 1705.
13. Santos L., Ramos F. Antimicrobial resistance in aquaculture: Current knowledge and alternatives to tackle the problem // International journal of antimicrobial agents. 2018. Vol. 52, No 2. P. 135–143.
14. Zhang Z. L., Li J. J., Xing S. W., Lu Y. P., Zheng P. H., Li J. T., Hao C. G., Xu J. R. Xian J. A., Zhang L. M., Zhang X. X. A newly isolated strain of *Bacillus subtilis* W2Z exhibited probiotic effects on juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* // Aquaculture. 2024. Vol. 585. P. 740700.

Поступила в редакцию 21.08.2025 г.

Olshevskaya A. V., Shevchenko V. N., Maltseva T. A., Sarkisyan D. S., Cholutaeva E. E. Study of growth characteristics of male and female Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) when introducing bacteriocin into their diet. – The paper presents data on the results of studying the effect of nisin on the growth and survival of female and male Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. The experiment was conducted in closed water supply systems on individuals with clearly expressed signs of sexual dimorphism and divided into control and experimental groups. Nisin, a representative of the class of lantibiotics type A, was added to the diet of the experimental groups in an amount of 0.1 %. The duration of the experiment was 30 days. As a result, an improvement in growth indicators was recorded: the average weight of females in the experimental group increased by 33.6 %, males – by 26.1 % compared to the control group. Survival also increased to 86.7 % for females and 83.3 % for males against 56.7 % and 76.7 %, respectively, in the control groups. The data obtained are of practical value for the development of environmentally friendly technologies in industrial crustacean breeding.

Keywords: aquaculture, *Cherax quadricarinatus*, biotechnology, growth rates, survival, bacteriocins, nisin, lantibiotics.

Ольшевская Анастасия Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии и оборудование переработки продукции
агропромышленного комплекса», ФГБОУ ВО
«Донской государственный технический
университет», г. Ростов-на-Дону, РФ.
E-mail: olshevskaya.av@gs.donstu.ru
ORCID: 0000-0001-8318-3938
AuthorID: 784811

Olshevskaya Anastasiya Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department of «Technologies and Equipment for
Processing Products of the Agro-Industrial Complex»,
Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russian Federation.

Шевченко Виктория Николаевна

кандидат биологических наук, старший научный
сотрудник научно-исследовательской лаборатории
«Центр агробιοтехнологии», ФГБОУ ВО «Донской
государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону, РФ.
E-mail: vikakhorosheltseva@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5001-4959
AuthorID: 1031771

Shevchenko Victoria Nikolaevna

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of
the Research Laboratory «Agrobiotechnology Center»,
Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russian Federation.

Мальцева Татьяна Александровна

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии и оборудование переработки продукции
агропромышленного комплекса», ФГБОУ ВО
«Донской государственный технический
университет»,
г. Ростов-на-Дону, РФ.
E-mail: tamalceva@donstu.ru

Maltseva Tatyana Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department of «Technologies and Equipment for
Processing Products of the Agro-Industrial Complex»,
Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russian Federation.

ORCID: 0000-0002-3973-6846

AuthorID: 969155

Саркисян Диана Славиковна

студент, факультет «Агропромышленный»,
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический
университет», г. Ростов-на-Дону, РФ.

E-mail: dianassarkisyan@mail.ru

AuthorID: 1180124

Sarkisyan Diana Slavikovna

Student, Faculty of Agribusiness, Don State Technical
University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Чолутаева Энкрина Эренценовна

студент, факультет «Агропромышленный»,
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический
университет», г. Ростов-на-Дону, РФ.

E-mail: cholutaeva@mail.ru

Cholutaeva Enkrina Erentsenovna

Student, Faculty of Agribusiness, Don State Technical
University, Rostov-on-Don, Russian Federation

© В. Ю. Сердюк¹, А. С. Замотайлов², А. А. Гожко³

ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) В НАСАЖДЕНИЯХ ШЕЛКОВИЦЫ СЛАВЯНСКОГО РАЙОНА КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

¹Кубанский научно-исследовательский центр «Дикая природа Кавказа»
Россия, 350087, г. Краснодар, ул. Тепличная, д. 58, к. 18

²Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина
Россия, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13

³Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования
«Кубанский государственный университет» в г. Славянске-на-Кубани
Россия, 353560, г. Славянск-на-Кубани, ул. Кубанская, д. 200

Сердюк В. Ю., Замотайлов А. С., Гожко А. А. Эколого-фаунистический обзор жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в насаждениях шелковицы Славянского района Краснодарского края. – В представленной работе проводится комплексное изучение фауны и ключевых экологических особенностей жуков-жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в экосистеме шелковичных насаждений Славянского района Краснодарского края. Исследовано два локалитета, выделяющихся неоднородностью фитоценоотического состава: территория близ станицы Анастасиевская, находящаяся в непосредственной близости от агрохозяйственной зоны, и поселок Кубрис, расположенный вдоль акватории водотока – реки Протока. Всего обнаружено 43 вида жуужелиц из 24 родов и 15 триб. По гирпропреферендуму превалирует мезофильная группа жуков, составляя 83 % от общего числа видов. В структуре жизненных форм в обоих изученных локалитетах доминируют зоофаги, доля которых составляет 73 %. Среди зоофагов выделено 8 групп жизненных форм: эпигеобионты летающие, эпигеобионты ходящие, стратобионты-скважники подстилично-трещинные, хортобионты стеблевые, геобионты бегающее-роющие, стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные, стратобионты-скважники подстилочные, стратобионты зарывающиеся подстилично-почвенные. А из числа миксофитофагов 3 группы: геохортобионты гарпалоидные, геохортобионты дитомоидные, стратохортобионты. В биотопической структуре жуужелиц выделяются представители пяти основных экологических групп: полевых, степных, болотных, луговых и лесных сообществ. Установлена статистически подтвержденная зависимость численности жуужелиц от фитоценоотических характеристик и уровня антропогенного воздействия.

Ключевые слова: жуужелицы (Coleoptera, Carabidae), эколого-фаунистический анализ, насаждения шелковицы, антропогенное воздействие, Славянский район.

Введение

Тутовник (или шелковица – род *Morus*) приобрела широкое распространение на Кубани с начала 40-х годов XX века после выхода в свет Постановления Совнаркома об обеспечении повсеместного разведения тутового шелкопряда. Активное производство шелковичного червя и его кормовых растений продолжалось вплоть до 80-х годов прошлого века. Таким образом, возраст сохранившихся насаждений шелковицы составляет до 80 лет. За этот период искусственное насаждение обогатилось разнообразными флористическими элементами и приобрело в некотором отношении характер естественного фитоценоза. Соответственно, период формирования энтомофауны этого биоценоза насчитывает такой же срок, ее характеристика представляет интерес с точки зрения выявления закономерностей долговременной трансформации биоценозов в условиях интродукции хозяйственно значимых видов. Одним из основных районов Краснодарского края, где проводились массовые посадки шелковицы, является Славянский.

В целом энтомофауна Краснодарского края отличается высоким видовым разнообразием и включает представителей множества отрядов насекомых, которые играют важную роль в функционировании экосистем региона. Среди этого многообразия особую роль играют представители семейства жуужелиц (Coleoptera, Carabidae), как одного из самых многочисленных и важных в истреблении ряда экономически значимых вредителей [8, 9, 14].

Семейству Carabidae свойственен широкий спектр адаптивных качеств, позволяющих рассматривать их в качестве эталонной модельно-индикационной группы организмов [2, 5, 16]. Высокая филогенетическая диверсификация, широкая экологическая амплитуда и способность реагировать на минимальные изменения окружающей среды, определяет особую значимость жуужелиц в качестве эффективных биоиндикаторов экологического состояния природных и антропогенно-трансформированных экосистем [3, 7, 17, 19, 23].

Карабидофауна Краснодарского края находится в центре внимания исследователей на протяжении длительного периода времени, однако, несмотря на значительный объем накопленной информации, сохраняется ряд нерешенных вопросов и белых пятен в понимании структуры и динамики популяций жуужелиц, что требует продолжения дальнейших целенаправленных исследований и комплексного подхода к сбору и обработке данных [1, 11]. Основной массив усилий был направлен на изучение популяций жуужков в агроценозах, тогда как видовой состав и экологические особенности заброшенных ботанических комплексов, с преобладанием шелковицы, оставались вне сферы научного рассмотрения [4, 12, 13, 18, 22].

Целью настоящего исследования стало проведение эколого-фаунистического анализа заброшенных насаждений шелковицы, обусловленное дефицитом имеющихся научных данных по соответствующей тематике. Полученные результаты будут также способствовать расширению представлений о фаунистическом разнообразии и экологических особенностях карабидофауны Славянского района Краснодарского края.

Материал и методы исследования

Исследования осуществлялись на протяжении трех лет (2022–2024 гг.) в двух обособленных биогеографических участках Славянского района Краснодарского края, отличающихся спецификой своего фитоценотического облика: первая зона охватывает территорию около станицы Анастасиевской (45°13'37" с. ш., 37°55'39" в. д.), граничащую с обширными полями сельскохозяйственных культур, вторая же располагается в поселке Кубрис (45°14'40" с. ш., 38°09'46" в. д.), размещенном вдоль пойменной зоны реки Протока. Расстояние между локалитетами составляет 16,2 километра.

Отбор полевого материала осуществлялся общепринятыми способами: устанавливались почвенные ловушки Барбера, представлявшие из себя пластиковые стаканы на треть заполненные консервирующим агентом (формальдегидом). Сверху над стаканом размещалась пластиковая крышка, защищающая ловушку от попадания дождевой воды и чрезмерного испарения жидкости. Каждый локалитет был разбит на 10 точек, в каждой из которых было размещено по 10 ловушек, расположенных трансектно. Выборку полевого материала осуществляли 3 раза в месяц.

Помимо классических почвенных ловушек, дополнительно использовались методы сбора путем кошения энтомологическим сачком, а также модернизированные световые ловушки. Их конструкция представляет из себя прозрачную пятилитровую емкость с четырьмя боковыми отверстиями шириной по 10 сантиметров каждый. К нижней части которой крепится дополнительная полуторалитровая пластиковая бутылка, зафиксированная изоляционной лентой. Внутренний объем заполняется фиксатором – раствором формальдегида концентрацией 4 %. Длина всей конструкции составляет 70 см, верхний диаметр равен 14 см, нижний – 7 см. Установка осуществляется на расстоянии около 2 м над землей. Верхняя часть устройства снабжена небольшим вырезом, куда помещается лампа мощностью 0,006 Вт. Электропитание ловушки осуществляется от солнечной панели, которая накапливает электричество, вырабатываемое в дневное время [20]. Идентификация карабид осуществлялась с использованием современных определителей [6, 10, 15, 21].

Первый исследуемый локалитет (окрестности станицы Анастасиевской) расположен в нескольких километрах от самой станицы и представляет собой «островок зарослей шелковицы», окруженный полевыми угодьями (пшеница, ячмень, соя, люцерна, подсолнечник). Его фитоценоз довольно беден и помимо находящихся рядом культурных

растений представлен ассоциациями ковыля узколистного, амброзии полыннолистной, лебеды раскидистой, пырея ползучего, лисохвоста лугового.

Второй исследуемый локалитет (поселок Кубрис) обладает флористическим богатством. Его растительность типична для пойменно-дельтовой зоны. Здесь преобладают ассоциации тростника обыкновенного, осоки береговой, амброзии полыннолистной, крапивы, мятлика однолетнего, пырея ползучего, подорожника большого, паслена, чертополоха, дурнишника зобовидного, ежеголовника. Из древесной растительности встречается тополь, дуб, ясень, акация, ива, верба, шелковица.

Статистическая обработка данных выполнена в программе «Статтех 4.8.5». Инструменты программы позволили установить статистически значимые различия, выявить корреляции и рассчитать индексы разнообразия, что повысило достоверность результатов.

Основные методы обработки данных включали следующие этапы: проверка соответствия распределений нормальному закону, проведенная с использованием статистического критерия Шапиро-Уилка; описание количественных данных с помощью медиан и межквартильных диапазонов (Q_1 – Q_3) при отсутствии нормального распределения; сравнение между группами осуществлялось с помощью U-критерия Манна-Уитни; оценка дискриминационной способности переменных производилась методом ROC-анализа, с определением оптимального порога на основании максимума индексов Юдена. Критическое значение уровня значимости было установлено на уровне $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

В ходе полевых исследований было зарегистрировано 43 вида жуужелиц, принадлежащих к 24 родам и 15 трибам. Среди них 23 вида обитают в экосистеме шелковичных насаждений близ станции Анастасиевской, в то время как в насаждениях шелковицы поселка Кубрис было выявлено 35 видов (табл. 1).

Таблица 1

Фаунистический состав жуужелиц насаждений шелковицы

№	Триба / вид	станция Анастасиевская	поселок Кубрис
1	2	3	4
CICINDELINI			
1	<i>Cicindela germanica</i> (Linnaeus, 1758)	–	+
AMARINI			
2	<i>Amara lucida</i> (Duftschmid, 1812)	+	+
3	<i>Amara aenea</i> (DeGeer, 1774)	+	+
4	<i>Amara consularis</i> (Duftschmid, 1812)	–	+
BRACHININI			
5	<i>Brachinus crepitans</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
6	<i>Brachinus alexandri</i> (F. Battoni, 1984)	–	+
DRYPTINI			
7	<i>Drypta dentata</i> (Rossi, 1790)	+	+
CARABINI			
8	<i>Carabus exaratus</i> (Quensel, 1806)	+	+
9	<i>Carabus granulatus</i> (Linnaeus, 1758)	–	+
10	<i>Carabus cumanus</i> (Fischer von Waldheim, 1823)	+	+
11	<i>Carabus campestris</i> (Fischer von Waldheim, 1822)	+	+
CALLISTINI			
12	<i>Callistus lunatus</i> (Fabricius, 1775)	+	–
13	<i>Dinodes decipiens</i> (Dufour, 1820)	–	+
14	<i>Chlaenius nitidulus</i> (Schränk, 1781)	+	+

1	2	3	4
15	<i>Chlaenius aeneocephalus</i> (Dejean, 1826)	–	+
SPHODRINI			
16	<i>Calathus erratus</i> (C. R. Sahlberg, 1827)	+	+
17	<i>Calathus distinguendus</i> (Chaudoir, 1846)	+	–
18	<i>Calathus fuscipes</i> (Goeze, 1777)	–	+
PANAGAEINI			
19	<i>Panagaeus cruxmajor</i> (Linnaeus, 1758)	+	–
PTEROSTICHINI			
20	<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	–	+
21	<i>Poecilus crenuliger</i> (Chaudoir, 1876)	–	+
22	<i>Poecilus sericeus</i> (Fischer von Waldheim, 1824)	–	+
23	<i>Poecilus subcoeruleus</i> (Quensel in Schönherr 1806)	–	+
24	<i>Pterostichus nigrita</i> (Paykull, 1790)	+	+
25	<i>Pterostichus gracilis</i> (Dejean, 1828)	+	–
26	<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	+	–
PLATYNINI			
27	<i>Anchomenus dorsalis</i> (Pontoppidan, 1763)	+	+
28	<i>Platyderus caucasicus</i> (Kryzhanovskij, 1968)	+	–
HARPALINI			
29	<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius, 1787)	+	+
30	<i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer, 1796)	–	+
31	<i>Diachromus germanus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–
32	<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid, 1812)	+	+
33	<i>Harpalus affinis</i> (Schrank, 1781)	+	+
34	<i>Harpalus rufipes</i> (DeGeer, 1774)	+	+
35	<i>Harpalus distinguendus</i> (Duftschmid, 1812)	–	+
36	<i>Ophonus azureus</i> (Fabricius, 1775)	–	+
37	<i>Carterus gilvipes</i> (Piochard de la Brulerie, 1873)	–	+
NEBRIINI			
38	<i>Nebria brevicollis</i> (Fabricius, 1792)	+	–
LEBIINI			
39	<i>Microlestes fissuralis</i> (Reitter, 1901)	–	+
40	<i>Lionychus quadrillum</i> (Duftschmid, 1812)	–	+
BROSCINI			
41	<i>Broscus semistriatus</i> (Dejean, 1828)	–	+
BEMBIDIINI			
42	<i>Bembidion lampros</i> (Herbst, 1784)	–	+
43	<i>Bembidion aspericolle</i> (Germar, 1829)	–	+

Примечание – «+» – вид обнаружен; «–» – вид не обнаружен.

Исследуемая группа жуужелиц проявляет выраженную специализацию по предпочтениям к влажности, образуя три функциональных подгруппы: мезофилы, гигрофилы и мезо-ксерофилы. Мезофильная составляющая оказалась доминирующей среди выявленных таксонов, занимая ведущую позицию в структуре сообщества жуужелиц: данная тенденция проявляется одинаково ярко как в локальной среде первого участка (окрестности станицы Анастасиевской), где мезофилы составляли 83 %, так и на другой изученной территории (поселок Кубрис), где удельный вес данной группы оказался аналогичным (рис. 1).

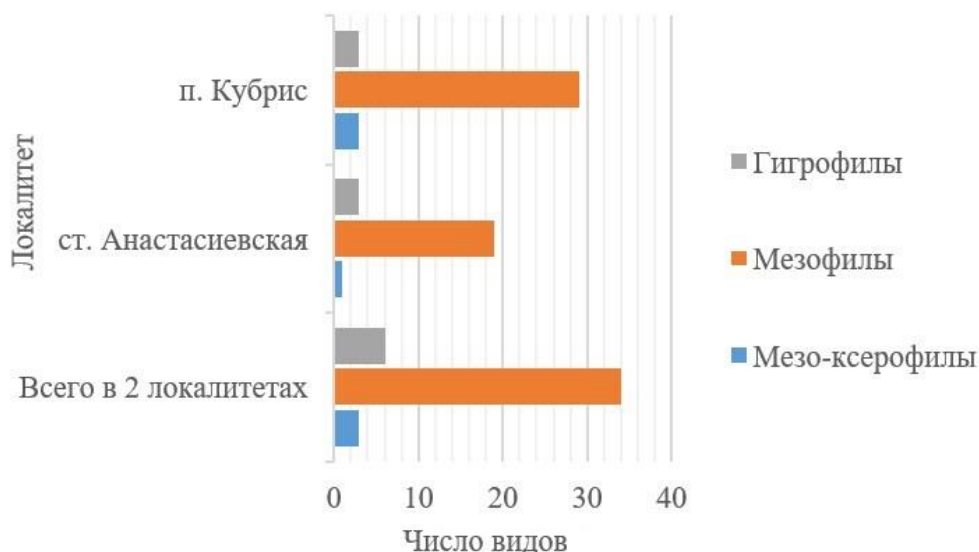


Рис. 1. Соотношение жуелиц по гигропреферендуму

В спектре жизненных форм в обоих локалитетах преобладают зоофаги, доля которых составляет 73 %. Из общего числа выявленных видов – 31 относится зоофагам, а оставшиеся 12 – к миксофитофагам. Среди зоофагов выявлено 8 групп жизненных форм: эпигеобионты летающие, эпигеобионты ходящие, стратобионты-скважники подстильно-трещинные, хортобионты стеблевые, геобионты бегающее-роющие, стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные, стратобионты-скважники зарывающиеся подстильно-почвенные.

Из 12 видов миксофитофагов обнаружено 3 группы: геохортобионты гарпалоидные, геохортобионты дитомоидные, стратохортобионты (рис. 2).

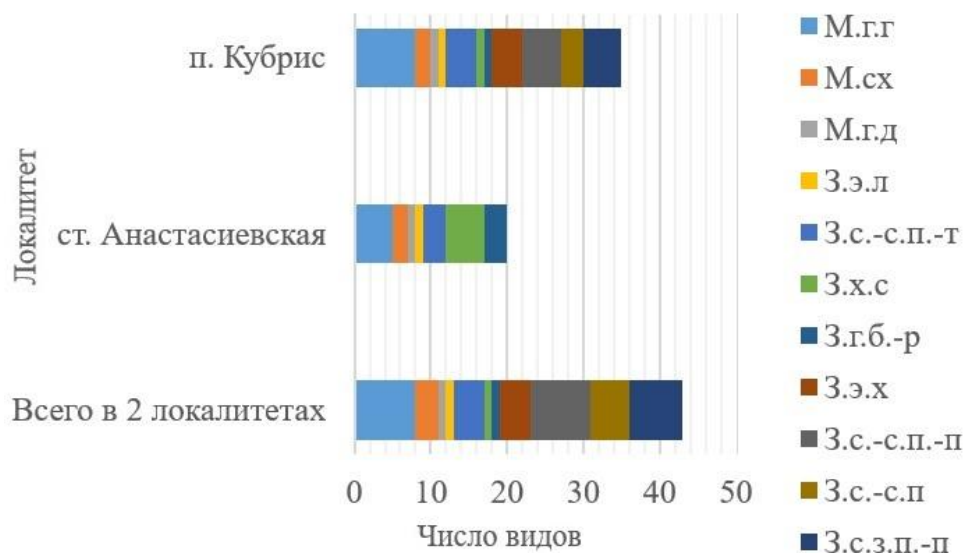


Рис. 2. Соотношение жизненных форм жуелиц:

М. – миксофитофаги (г. г. – геохортобионты гарпалоидные, г. д. – геохортобионты дитомоидные, сх – стратохортобионты); З. – зоофаги (э. л. – эпигеобионты летающие, э. х – эпигеобионты ходящие, с.-с. п.-т – стратобионты-скважники подстильно-трещинные, х. с – хортобионты стеблевые, г. б.-р – геобионты бегающее-роющие, с.-с. п.-п – стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные, с.-с. п – стратобионты-скважники зарывающиеся подстильно-почвенные)

Среди хищников наиболее многочисленную группу по количеству видов составляли стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные (8) и стратобионты зарывающиеся

подстильно-почвенные (7). Из числа представителей со смешанным типом питания преобладали геохортобионты гарпалоидные (8).

По результатам проведенного исследования в составе биотопических групп жуужелиц выделяются представители полевых, степных, болотных, луговых и лесных сообществ. При этом доминирующую роль в структуре фауны изучаемых участков играют степные и лесные виды, относительная численность которых значительно превышает показатели остальных экологических групп (рис. 3).

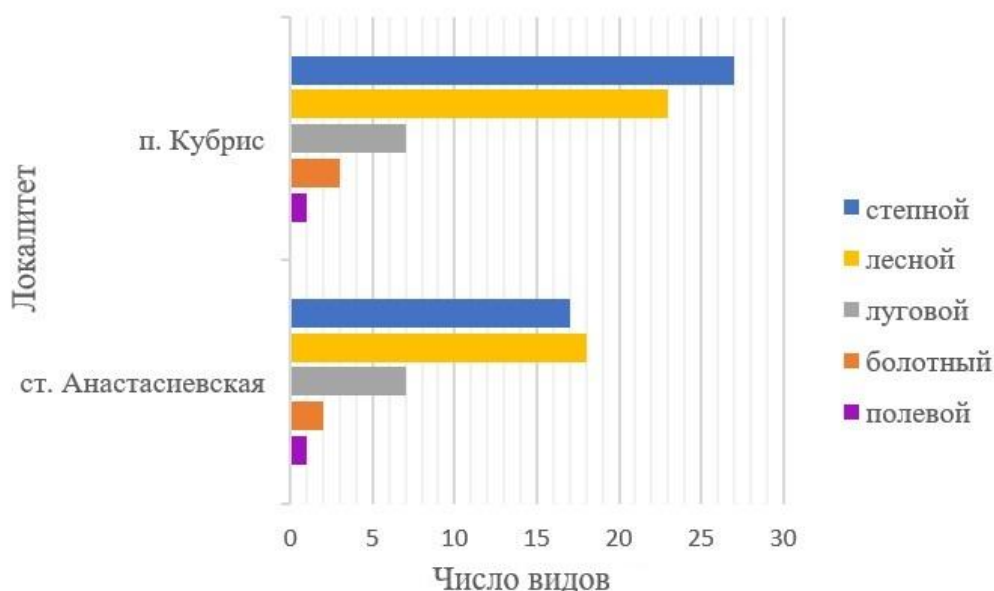


Рис. 3. Соотношение биотопических групп жуужелиц

Нами был проведен анализ числа видов жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в зависимости от уровня фитоценозического богатства и уровня антропогенного воздействия. Сравнение показало, что существует четкая взаимосвязь между особенностями растительного покрова и соответствующими изменениями численности и видового состава жуужелиц, что подчеркивает ключевую роль фитоценозических факторов в формировании структуры энтомофауны. Поскольку один из исследуемых районов находится под сильным антропогенным давлением (окруженный агроценозами), дополнительно был проведен анализ видового разнообразия жуужелиц в зависимости от уровня антропогенного влияния. Итоговые результаты сопоставлялись с ситуацией, сложившейся на территории, испытывающей минимальное давление со стороны человека (табл. 2).

Таблица 2

Анализ числа видов жуужелиц в зависимости от фитоценоза и антропогенного воздействия

Показатель	Критерии	Число видов			p
		Me	Q ₁ –Q ₃	n	
Фитоценоз	бедный	2,00	2,00 – 2,75	10	0,012*
	богатый	4,00	2,50 – 4,00		
Антропогенное влияние	незначительное	4,00	2,50 – 4,00		
	значительное	2,00	2,00 – 2,75		

Примечание – * – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$); Me – медиана; Q₁–Q₃ – верхний и нижний квартиль; n – размер выборки; p – уровень статистической значимости

При сопоставлении числа видов в зависимости от фитоценоза, были выявлены статистически значимые различия ($p = 0,012$). Богатые фитоценозы характеризуются

большим разнообразием видов жуужелиц (медианное значение – 4), тогда как в бедных фитоценозах разнообразие меньше (медианное значение – 2). Проведенный ROC-анализ показал, что число видов жуужелиц является хорошим индикатором состояния фитоценозов. Площадь под ROC-кривой составила $AUC = 0,805$, что свидетельствует о высокой точности предсказания типа фитоценоза на основании числа видов.

Число видов является статистически значимым предиктором фитоценоза ($AUC = 0,805$; 95 % ДИ: 0,607 – 1,000, $p = 0,012$). Оптимальное пороговое значение, соответствующее максимальному индексу Юдена, составляет 4 вида. Это означает, что наличие четырех и более видов характерно для богатых фитоценозов, а менее четырех видов ассоциируется с бедными.

Чувствительность и специфичность полученной прогностической модели в зависимости от фитоценоза составили 70,0 % и 100,0 %, соответственно, что указывает на достаточно высокую диагностическую точность. Эти показатели демонстрируют хорошую пригодность выбранной прогностической модели для эффективного анализа состояния растительного покрова и оценки биоразнообразия жуужелиц в исследуемых биотопах, а также открывает перспективы для последующего масштабирования исследований, расширения перечня изучаемых территорий и внедрения метода в практику экологического мониторинга, инвентаризационных работ и оценки устойчивости природных экосистем.

Антропогенная нагрузка негативно воздействует на карабидофауну. Было обнаружено, что при значительном влиянии человека снижается среднее количество видов жуужелиц (среднее медианное значение снизилось до 2 против 4 в условиях низкого воздействия). Этот эффект также оказался статистически достоверным ($p = 0,012$). ROC-анализ подтвердил высокую дискриминантную способность показателя количества видов жуужелиц для определения уровня антропогенного давления (рис. 4).

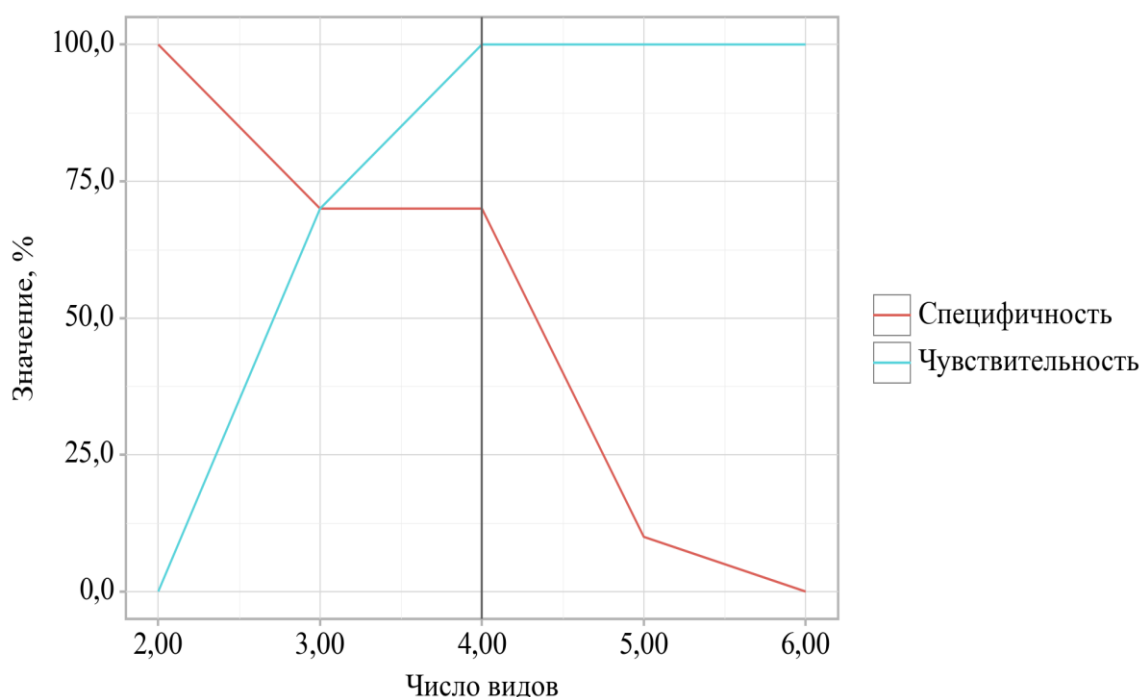


Рис. 4. Анализ чувствительности и специфичности модели в зависимости от пороговых значений оценок вероятности антропогенного влияния

Показатель имеет высокий уровень специфичности (70 %) и чувствительность (100 %), что позволяет эффективно различать зоны с низким и высоким уровнем вмешательства человека. Оптимальное пороговое значение числа видов, соответствующее максимальному показателю индекса Юдена, составило 4,00. Прогнозируемый эффект считался значительным, если количество видов оказывалось ниже указанной границы (табл. 3).

Таблица 3

Анализ дискриминационной способности числа видов в зависимости от фитоценоза и антропогенного влияния

Фактор	Порог	Чувствительность (Se), %	Специфичность (Sp), %	PPV	NPV
Ф	4,00	70,0	100,0	100,0	76,9
	3,00	70,0	70,0	70,0	70,0
А	4,00	100,0	70,0	76,9	100,0
	3,00	70,0	70,0	70,0	70,0

Примечание – «Ф» – фитоценоз, «А» – антропогенное влияние; PPV – положительное предсказательное значение; NPV – отрицательное предсказательное значение

Выводы

В ходе проведенного исследования в насаждениях шелковицы Славянского района Краснодарского края (окрестности станицы Анастасиевской и поселок Кубрис) был установлен видовой состав жуужелиц (Coleoptera, Carabidae), насчитывающий 43 вида, относящихся к 24 родам и 15 трибам.

По отношению к влажности исследуемый карабидокомплекс включает в себя представителей трех функциональных групп: мезофилов, гигрофилов и мезо-ксерофилов. При этом доля мезофильной группы доминирует над всеми остальными, составляя 83 %.

В структуре жизненных форм жуужелиц обоих изученных локалитетов отмечается преобладание зоофагов над миксофитофагами. Причем зоофаги составляли 73 % от общего числа видов. Из числа хищников выявлено 8 групп жизненных форм: эпигеобионты летающие, эпигеобионты ходящие, стратобионты-скважники подстилично-трещинные, хортобионты стеблевые, геобионты бегающее-роющие, стратобионты-скважники поверхностно-подстилочные, стратобионты-скважники подстилочные, стратобионты зарывающиеся подстилично-почвенные. Среди карабид со смешанным типом питания выявлено 3 группы: геохортобионты гарпалоидные, геохортобионты дитомоидные, стратохортобионты.

В биотопической структуре жуужелиц выделяются пять основных экологических групп: полевых, степных, болотных, луговых и лесных сообществ. При этом доля степных и лесных видов в каждом изученном локалитете превалирует над всеми остальными.

При построении статистических моделей взаимосвязей между уровнем флористического богатства фитоценозов и видовым разнообразием жуужелиц, а также влияния антропогенной активности на их популяционные характеристики – были выявлены следующие значимые закономерности: видовое разнообразие жуужелиц коррелирует с флористическим богатством, при этом повышенная антропогенная активность оказывает выраженное негативное воздействие на разнообразие карабид.

Так первый локалитет, расположенный в окрестностях станицы Анастасиевской и подверженный сильному антропогенному воздействию, обладает низким уровнем видового разнообразия жуков. Подобная ситуация обусловлена активным влиянием хозяйственной деятельности человека, ведущей к обеднению природной среды и утрате уникальных экологических ниш. Параллельно этому, на исследуемой территории отмечается низкая флористическая составляющая, что дополнительно подчёркивает прямую зависимость между степенью антропогенного влияния и сокращением биологического разнообразия.

Работа подготовлена отчасти в рамках тематического плана НИОКР Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ) имени И. Т. Трубилина, тема № 121032300137-1 «Разработка биоэкологических основ и рациональных приемов оптимизации фитосанитарного состояния агроэкосистем и мониторинга вредных и полезных организмов в агроландшафте», реализуемая в целях совершенствования подходов к обеспечению устойчивого функционирования агроэкосистем.

Список литературы

1. Абдурахманов Г. М., Халилова Э. А., Гаджиева Э. М. Состав и географическое распространение жуужелиц, летящих на свет // Юг России: экология, развитие. 2009. Т. 4, № 2. С. 66–71.
2. Алемасова Н. В. Жуужелицы как индикаторы антропогенного воздействия // Вестник Мордовского университета. 2009. Т. 19, № 1. С. 8–9.
3. Булохова Н. А. Видовой состав и структура населения жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в пойменных экосистемах на юго-западе России // Вестник Брянского государственного университета. 2010. № 4. С. 123–127.
4. Белый А. И., Глущенко Л. С., Замотайлов А. С., Хомицкий Е. Е. Структура карабидокомплекса садового агроценоза центральной зоны Краснодарского края // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сборник материалов Международ. научно-практ. конф. / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем. Майкоп: Адыгейский государственный университет, 2013. С. 23–26.
5. Важенникова Н. В. Жуужелицы (Coleoptera, Carabidae) как биоиндикаторы развития сообществ южной тайги Западной Сибири // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 11(232). С. 70–80.
6. Горностаев Г. Н. Определитель отрядов и семейств насекомых фауны России. М.: Логос, 1999. 176 с.
7. Гусева О. Г., Коваль А. Г., Вяземская Е. О. Жуужелицы (Coleoptera, Carabidae) агроландшафтов Северо-Запада России и особенности их комплексов в различных агроценозах // Вестник защиты растений. 2015. № 4(86). С. 20–26.
8. Девяткин А. М., Белый А. И., Левыченкова А. А. Энтомофаги-хищники вредителей люцерновых агроценозов Кубани // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 88. С. 67–73. DOI: 10.21515/1999-1703-88-67-73.
9. Девяткин А. М., Белый А. И. Изучение видового состава жуужелиц люцерновых агроценозов Кубани с целью их использования для подавления фитофагов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 76. С. 103–108. DOI: 10.21515/1999-1703-76-103-108.
10. Жеребцов А. К. Определитель жуужелиц Республики Татарстан. Казань, 2000. 74 с.
11. Замотайлов А. С., Возжсанникова А. Ю., Макаов А. К. Некоторые закономерности формирования фауны жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) агроландшафтов Краснодарского края и Республики Адыгея // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. № 20. С. 206–213.
12. Замотайлов А. С., Хомицкий Е. Е., Белый А. И. Характеристика комплекса жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) агроландшафта центральной зоны Краснодарского края в начале XXI века. Сообщение 2. Многолетняя трансформация структуры и биоэкологических параметров // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. Вып. 1(52). С. 103–118.
13. Кузьменко Н. В. Динамика популяций жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в насаждениях шелковицы в зависимости от технологии ее выращивания: автореф. ... канд. биол. наук: 03.00.09 – Энтомология: Харьков, 1998. 19 с.
14. Коваль А. Г., Белоусов И. А. Возможность применения в защите растений местных видов энтомофагов // Энтомологическое обозрение. 2001. Т. 80, № 4. С. 823–829.
15. Крыжановский О. Л. Семейство Carabidae – жуужелицы // Определитель насекомых европейской части СССР. Жесткокрылые и веерокрылые. Т. 2. М.-Л.: Наука, 1965. С. 670.
16. Логвиновский В. Д., Кречетова Т. В. Жуужелицы (Coleoptera, Carabidae) как объект биоиндикационных исследований в условиях Северо-Запада России // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2000. № 2. С. 108–111.

17. Сигида Р. С. Эколого-фаунистический анализ жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) прибрежных биоценозов степной зоны Центрального Предкавказья // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2009. № 2. С. 77–83.
18. Сердюк В. Ю., Замотайлов А. С., Бондаренко А. С. Агробиологические особенности и хозяйственное значение некоторых видов полевых жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроценозах Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 75. С. 90–96. DOI: 10.21515/1999-1703-75-90-96.
19. Сердюк В. Ю., Замотайлов А. С., Бондаренко А. С. Жизненные формы, экологическая приуроченность и ареалогическая характеристика жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) агроландшафта в условиях лиманно-плавневого природного комплекса Северо-Западного Кавказа // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 76. С. 147–154. DOI: 10.21515/1999-1703-76-147-154.
20. Сердюк В. Ю., Замотайлов А. С. Результаты использования световых ловушек для мониторинга популяций жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в лиманно-плавневой зоне Северо-Западного Кавказа // Экосистемы. 2025. № 41. С. 120–128. DOI: 10.29039/2413-1733-2025-41-120-128.
21. Хотько Э. И. Определитель жуужелиц (Coleoptera, Carabidae): справочное издание. Академия наук Белорусской ССР. Отдел зоологии и паразитологии. Минск: Наука и техника, 1978. 88 с.
22. Хомицкий Е. Е., Замотайлов А. С., Белый А. И., Никитский Н. Б. К изучению миграций комплекса жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроландшафтах Краснодарского края // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сборник материалов II Международ. научно-практ. конф., посвящается 75-летию Адыгейского государственного университета, Майкоп, 14–16 октября 2015 года. Майкоп: Адыгейский государственный университет, 2015. С. 85–88.
23. Шаламова Т. В., Шарова И. Х., Родимцев А. С. Фауна и структура населения жуужелиц (Carabidae) естественных сосновых лесов Тамбовской области // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2012. Т. 17, № 4. С. 1193–1200.

Поступила в редакцию 26.06.2025 г.

Serdyuk V. Yu., Zamotajlov A. S., Gozhko A. A. Ecological and faunistic survey of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in mulberry plantations in the Slavyansky District of Krasnodar Territory. – This paper presents a comprehensive study of the fauna and key ecological characteristics of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the ecosystem of mulberry plantations in the Slavyansky District of the Krasnodar Region. Two localities were studied, distinguished by the heterogeneity of their phytocenotic composition: the area near the village of Anastasievskaya, located in close proximity to an agricultural zone, and the village of Kubris, located along the watercourse of the Protoka River. A total of 43 species of ground beetles from 24 genera and 15 tribes were found. According to hygropreference, the mesophilic group of beetles prevails, accounting for 83% of the total number of species. In the structure of life forms in both studied localities, zoophages dominate, accounting for 73%. Among zoophages, eight groups of life forms were identified: flying epigeobionts, walking epigeobionts, stratobionts-burrowers in litter and cracks, stem-dwelling chortobionts, running-burrowing geobionts, stratobionts-burrowers in surface litter, substrate-dwelling stratobionts, and substrate-soil burrowing stratobionts. Among the mixophagous organisms, there are three groups: harpaloid geochortobionts, ditomoid geochortobionts, and stratochortobionts. In the biotopic structure of ground beetles, representatives of five main ecological groups stand out: field, steppe, marsh, meadow, and forest communities. A statistically confirmed dependence of the number of ground beetles on phytocenotic characteristics and the level of anthropogenic impact has been established.

Keywords: ground beetles (Coleoptera, Carabidae), ecological-faunistic analysis, mulberry plantations, anthropogenic impact, Slavyansk District.

Сердюк Владислав Юрьевич

научный сотрудник Кубанского научно-исследовательского центра «Дикая природа Кавказа», г. Краснодар, Россия.
E-mail: vladislav-serdyuk@yandex.ru

Serdyuk Vladislav Yuryevich

research assistant Kuban Research Center
«Wildlife of the Caucasus», Krasnodar, Russia.

ORCID: 0009-0002-4976-1508

AuthorID: 825321

Замотайлов Александр Сергеевич

доктор биологических наук, профессор кафедры
фитопатологии, энтомологии и защиты растений
Кубанского государственного аграрного университета
имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия.

E-mail: a_zamotajlov@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3623-9219

AuthorID: 98319

Zamotajlov Alexandr Sergeevich

Doctor of Biological Sciences, Professor of the
Department of Phytopathology, Entomology and Plant
Protection

I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University,
Krasnodar, Russia.

Гожко Александр Алексеевич

кандидат биологических наук, доцент Филиала
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кубанский государственный университет» в
г. Славянске-на-Кубани,

г. Славянск-на-Кубани, Россия.

E-mail: gozkoa@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3848-3215

AuthorID: 682875

Gozhko Alexandr Alekseevich

Candidate of Biological Sciences,
Docent Branch of the Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education «Kuban
State University» in Slavyansk-on-Kuban,
Slavyansk-on-Kuban, Russia.

© О. В. Чемерис

**МАСШТАБИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
ГРИБА *IRPEX LACTEUS* (Fr.) Fr. – ПРОДУЦЕНТА ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКИХ
ФЕРМЕНТОВ***ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»
Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46*

Чемерис О. В. Масштабирование процесса глубинного культивирования гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. – продуцента целлюлозолитических ферментов. – При масштабировании процесса глубинного культивирования штамма гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 2434 – продуцента экзоферментов целлюлазного комплекса на питательной среде, содержащей отходы переработки кукурузы, установлена воспроизводимость результатов, полученных в малых объемах питательной среды, только на начальных этапах культивирования. Высокая активность целлюлозолитических ферментов штамма-продуцента наблюдалась с 3-х по 10-е сутки культивирования. Снижение ферментативной активности культуральной жидкости установлено на 15-е сутки культивирования.

Ключевые слова: масштабирование, глубинное культивирование, комплекс целлюлозолитических ферментов, *Irpex lacteus* (Fr.) Fr.

Введение

Возобновляемая растительная биомасса, к которой относятся целлюлозосодержащие отходы – отходы сельского хозяйства, отходы переработки зерновых культур, биомасса быстрорастущих и энергетических растений, обладает высоким биотехнологическим потенциалом [6, 8, 14]. Особое внимание уделяется возможностям применения растительного сырья в энергетике и промышленной биотехнологии для производства биотоплива [2, 8, 14, 15], в пищевой промышленности для создания обогащенных биологически ценными веществами ингредиентов и продуктов [5], в микробиологической промышленности для получения кормовых дрожжей, растительно-углеводных или растительно-белковых кормов [4, 11]. Однако развитие малоотходных технологий переработки растительного сырья ограничено высокой прочностью его лигноцеллюлозной структуры [1, 21].

Наряду с традиционным кислотным гидролизом целлюлозы активно разрабатываются и ферментативные способы деструкции растительных отходов, позволяющие получить ценные продукты, которые в дальнейшем могут быть использованы в различных отраслях промышленности. Для реализации энзиматического гидролиза необходимым является наличие комплексных ферментных препаратов целлюлаз, продуцентами которых являются микроскопические грибы *Trichoderma* [22, 24], *Penicillium* [23], а также обладающие необходимым для деструкции целлюлозы полным набором ферментов базидиальные грибы, принадлежащие к родам *Irpex*, *Pleurotus*, *Daedaleopsis* и др. [7, 16, 17]. Поэтому разработка эффективных технологий получения ферментных препаратов является актуальной и требует определения закономерностей биосинтетических процессов в условиях масштабного перехода от лабораторных исследований к производственным условиям.

Цель работы – исследовать особенности масштабирования процесса глубинного культивирования штамма базидиального гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 2434 – продуцента ферментов целлюлозолитического действия.

Материал и методы исследования

Объектом исследования выступал штамм базидиального гриба *I. lacteus* 2434. Культивирование штамма-продуцента осуществляли в течение 15-ти суток при температуре 30 ± 2 °C в колбах Эрленмейера объемом 100 мл с 50 мл питательной среды и в лабораторном ферментере объемом 2 л с 1 000 мл питательной среды. Лигноцеллюлозный субстрат – листья початков кукурузы предварительно измельчали (фракция частиц составляли не более 3 мм) и вносили в количестве 2 %, в качестве жидкой фазы использовали солевой раствор среды Чапека [9, 17]. В качестве инокулюма использовали мицелиальную суспензию штамма-продуцента, внося 10 % от объема питательной среды [3]. Мицелиальную суспензию штамма *I. lacteus* 2434 получали при глубинном культивировании на питательной среде Чапека, содержащей 2 % Na-карбоксиметилцеллюлозы в качестве индуктора ферментов целлюлазного комплекса.

Активность ферментов целлюлазного комплекса культуральной жидкости штамма-продуцента *I. lacteus* 2434 определяли относительно следующих субстратов: фильтровальной бумаги (ФБ-активность), Na-карбоксиметилцеллюлозы (эндоглюканазная активность) и целлобиозы (целлобиазная активность) в соответствии с общепринятыми методиками [12, 13, 19]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед.) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1 μmol редуцирующих сахаров в течение 1 мин в условиях опыта ($t = +40$ °C, pH 5,0). Удельную активность (Ед./мг) определяли отношением общей активности культуральной жидкости (Ед./мл) к содержанию белка в культуральной жидкости (мг/мл). Концентрацию редуцирующих сахаров в перерасчете на глюкозу определяли методом Шомодьи-Нельсона [9, 12, 20], глюкозу определяли глюкозооксидазно-пероксидазным методом с использованием наборов реагентов для определения содержания глюкозы в биологических жидкостях («Глюкоза – Агат», ООО «Агат-Мед», Россия). Содержание белка определяли по методу Бредфорда [18]. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа, а сравнение средних арифметических величин – методом Дункана [10].

Результаты и обсуждение

Целлюлозолитическая активность штамма *I. lacteus* 2434 по отношению к фильтровальной бумаге была выявлена уже на 3-и сутки культивирования (рис. 1) независимо от объема питательной среды.

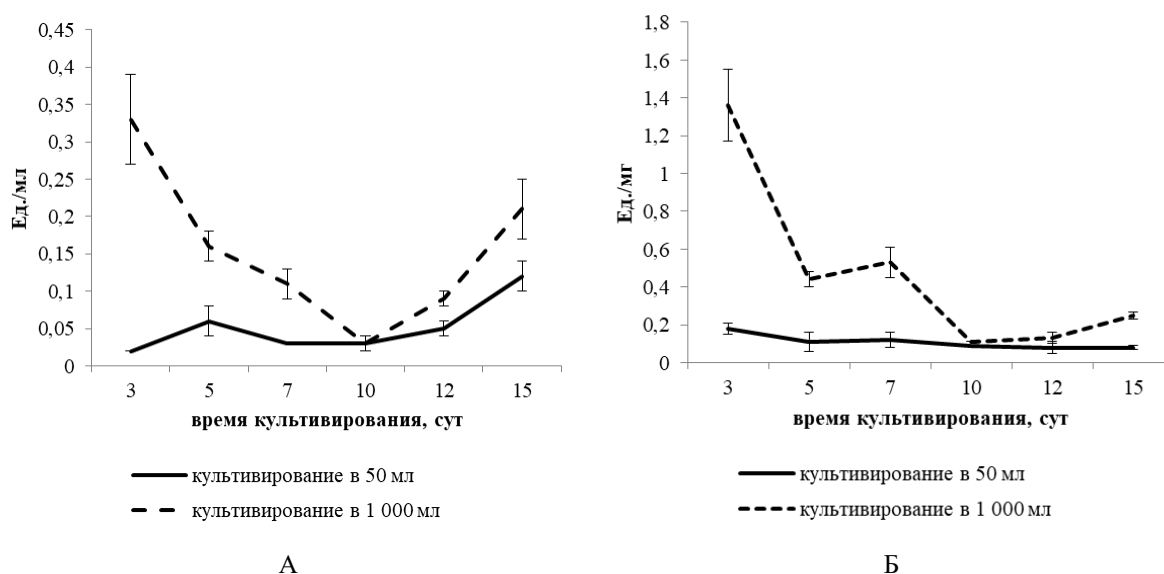


Рис. 1. ФБ-активность культуральной жидкости штамма *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 2434 при культивировании на питательной среде с листьями початков кукурузы:

А – общая активность, Б – удельная активность

Однако наибольшая ферментативная активность культуральной жидкости наблюдалась при культивировании продуцента в 1 000 мл питательной среды. При этом отмечены два максимальных пика ФБ-активности культуральной жидкости – на 3 и на 15-е сутки культивирования, с минимальными значениями на 10-е. При культивировании штамма продуцента на питательной среде с лигноцеллюлозным субстратом в объеме питательной среды 50 мл ферментативная активность составляла ~0,05 Ед./мл с максимумом на 15-е сутки (рис. 1А).

Удельная ФБ-активность штамма *I. lacteus* 2434 в 50 мл питательной среды оставалась примерно на одном уровне в течение всего периода культивирования. Максимум ферментативной активности отмечен на 3-и сутки культивирования продуцента в большем объеме питательной среды

Установлены различия в проявлении эндоглюканазной активности культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2434 (рис. 2). Так, при культивировании штамма-продуцента в малом объеме питательной среды, содержащей отходы переработки кукурузы, максимальные значения эндоглюканазы отмечены на 5-е сутки с последующим снижением к 15-м суткам. При больших объемах питательной среды выявлены два максимальных значения ферментативной активности на 5-е и 12 сутки культивирования (рис. 2А).

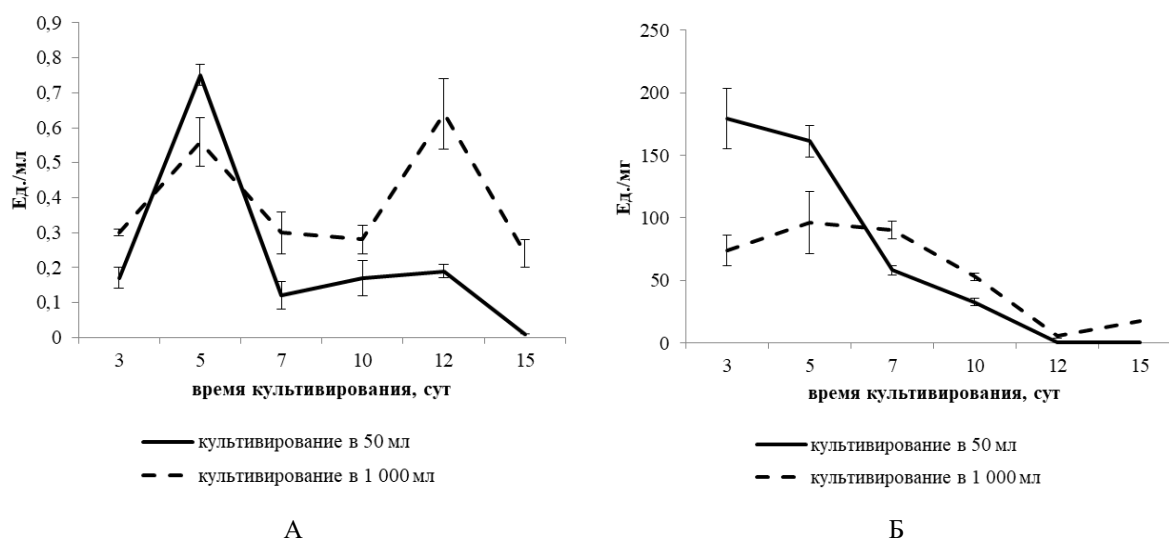


Рис. 2. Эндоглюканазная активность культуральной жидкости штамма *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 2434 при культивировании на питательной среде с листьями початков кукурузы: А – общая активность, Б – удельная активность

Характер проявления удельной эндоглюканазной активности штамма *I. lacteus* 2434 при культивировании в малом и большом объемах питательной среды совпадал. Максимальные значения активности фермента выявлены на начальных этапах культивирования с дальнейшим снижением к 15-м суткам (рис. 2Б).

Высокая целлюlobиазная активность культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2434 отмечена на 5-е сутки культивирования в малом объеме питательной среды (рис. 3А). К 15-м суткам культивирования ферментативная активность культуральной жидкости значительно снижалась. При культивировании штамма-продуцента в 1 000 мл питательной среды активность целлюlobиазы была достаточно стабильной с 3-х по 12-е сутки культивирования, однако к 15-м суткам снижалась более чем в два раза.

Удельная целлюlobиазная активность культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2434 при культивировании в малом объеме питательной среды была ниже, чем при культивировании в большем объеме (рис. 3Б). Однако к 15-м суткам культивирования ферментативная активность культуральной жидкости значительно снижалась, что может указывать на истощение питательной среды и недостаточное ее количество для поддержания метаболических процессов продуцента.

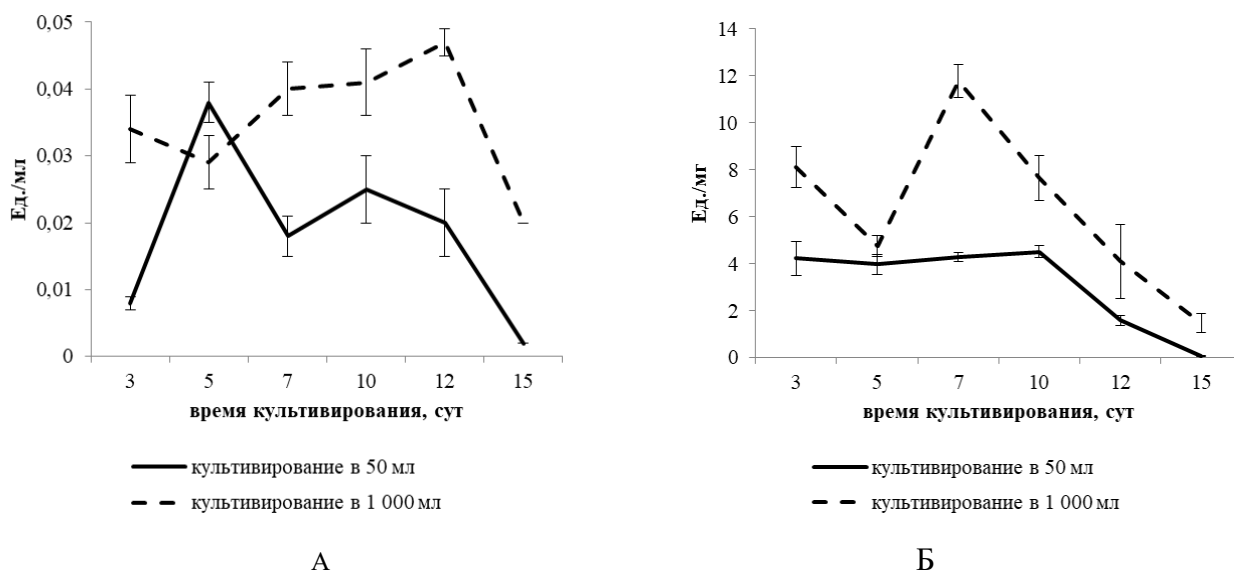


Рис. 3. Целлюбная активность культуральной жидкости штамма *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. 2434 при культивировании на питательной среде с листьями початков кукурузы:

А – общая активность, Б – удельная активность

Выводы

Масштабирование процесса культивирования штамма *I. lacteus* 2434 – продуцента внеклеточных ферментов целлюлозолитического действия показало воспроизводимость результатов, полученных в малых объемах питательной среды, только на начальных этапах культивирования. Высокая ферментативная активность целлюлаз установлена с 3-х по 10-е сутки культивирования, что необходимо учитывать при разработке технологии получения ферментного препарата.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Биологические способы переработки растительных отходов агропромышленного комплекса» (№ госрегистрации 124012400346-5).

Список литературы

1. Алешина Л. А., Глазкова Л. А., Луговская С. В., Подойникова М. В., Фофанов А. Д., Силина Е. В. Современное представление о строении целлюлоз // Химия растительного сырья. 2001. № 1. С. 5–36. EDN: HWILFL.
2. Байбакова О. В. Плодовые оболочки овса в качестве сырья для получения биоэтанола при масштабировании процесса по объему // Фундаментальные исследования. 2015. № 9–2. С. 215–218. EDN: UILBPT.
3. Бисько Н., Мустафин К., Сулейменова Ж., Ахметсадыков Н., Нармуратова Ж. Разработка методики получения физиологически активного инокулюма и изучение кинетических параметров синтеза грибной биомассы и биологически активных веществ // European journal of biomedical and life sciences. 2016. № 3. С. 4–10.
4. Валеева Р. Т., Красильникова О. В., Шурбина М. Ю., Нуретдинова Э. И. Солома – отход агропромышленного комплекса как перспективное сырье для получения кормовых и белковых препаратов // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 6. С. 137–140.
5. Волкова Г. С., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Давыдкина В. Е., Фурсова Н. А., Серба Е. М. Эффективность применения комплекса ферментов для переработки жмыха брусники обыкновенной в пищевой ингредиент // Химия растительного сырья. 2024. № 1. С. 310–319. DOI 10.14258/jcprm.20240112766. EDN: XSYLQF.
6. Джахонгирова Г. З., Акбарова Н. А., Агзамова Н. А. Исследование растительных отходов в качестве источников энергии // Universum: технические науки. 2018. № 8(53). С. 37–40. EDN: XWXGLZ.

7. Древаль К. Г., Бойко М. І. Нові продуценти целюлозолітичних ензимів целюлозолітичних ензимів серед вищих базидіальних грибів серед вищих базидіальних грибів // Біотехнологія. 2011. Т. 4, № 1. С. 87–92. EDN: PXQPBJ.
8. Калашиникова О. Б., Буденкова Е. А., Ульрих Е. В., Чупахин Е. Г., Кригер О. В., Масютин Я. А., Смага М. А., Басова Ю. С. Изучение процесса ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 2. С. 254–270. DOI 10.21603/2074-9414-2022-2-2361. EDN: PUHOFM.
9. Методы экспериментальной микологии: справочник / И. А. Дудка, С. П. Вассер, И. А. Элланская и др.: [отв. ред. В. И. Билай]. К.: Наук. думка, 1982. 552 с.
10. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів: навч. посібник / Ю. Г. Приседський. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.
11. Ромалийский В. С. Приготовление углеводно-белковых кормов посредством биоферментации вторичных растительных отходов АПК // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 4(19). С. 208–217. EDN: WHAOMJ.
12. Синицын А. П. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов: Уч. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
13. Синицын А. П., Черноглазов В. М., Гусаков А. В. Методы изучения и свойства целлюлозолитических ферментов // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. 1993. Т. 25. 152 с.
14. Скиба Е. А., Будаева В. В., Павлов И. Н., Макарова Е. И., Золотухин В. Н., Сакович Г. В. Получение ферментативных гидролизатов технических целлюлоз мискантуса и их спиртовое брожение // Биотехнология, 2012, № 6, С. 42–52. EDN: NVSCMT.
15. Сушкова В. И. Анализ технологических схем получения этанола и его сопродуктов из лигноцеллюлозосодержащего сырья (Обзор) // Химия растительного сырья. 2025. № 2. С. 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215474>. EDN: ZGYVZC.
16. Фоменко И. А., Тучкова С. Н. Утилизация целлюлозосодержащих отходов при помощи грибов // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 5. С. 123–133. DOI 10.47370/2072-0920-2021-17-5-123-133. EDN: VGUTCY.
17. Чемерис О. В. Оптимизация условий культивирования штамма *Irpex lacteus* 2434 – перспективного продуцента внеклеточных целлюлаз // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. 2023. № 4. С. 64–68. EDN: ZGQHIW.
18. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M. M. Bradford // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.
19. Ghose T. K. Measurement of cellulase activity / T. K. Ghose // Pure Appl. Chem. 1987. V. 59, No 2. P. 257–268.
20. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars / N. Nelson // J. Biol. Chem. 1944. V. 153, N 2. P. 375–379.
21. Parthasarathi R., Bellesia G., Chundawat S. P., Dale B. E., Langan P., Gnanakaran S. Insights into hydrogen bonding and stacking interactions in cellulose // J Phys Chem A. 2011. Dec 15. 115 (49). P. 14191–202. DOI: 10.1021/jp203620x.
22. Qian Y., Zhong L., Sun Y., Sun N., Zhang L., Liu W., Qu Y., Zhong Y. Enhancement of Cellulase Production in *Trichoderma reesei* via Disruption of Multiple Protease Genes Identified by Comparative Secretomics // Front. Microbiol. 2019. Vol. 10: 2784. P. 1–12. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02784.
23. Rao M., Mishra C. Properties and applications of *Penicillium funiculosum* cellulase immobilized on a soluble polymer // Biotechnol Lett. 1984. Vol. 6, 319–322. <https://doi.org/10.1007/BF00129062>.
24. Sternberg D. Production of cellulase by *Trichoderma* // Biotechnol Bioeng Symp. 1976. Vol. 6. P. 35–53.

Поступила в редакцію 15.09.2025 г.

Chemeris O. V. Scaling up the process of deep cultivation of the fungus *Irpex lacteus* (Fr.) Fr., a producer of cellulolytic enzymes. – When scaling up the process of deep cultivation of the fungus *Irpex lacteus* (Fr.) Fr., a producer of exoenzymes of the cellulase complex, on a nutrient medium containing corn processing waste, the reproducibility of the results obtained in small volumes of the nutrient medium was established only at the initial stages of cultivation. The high enzymatic activity of the cellulase producer strain was observed from the 3rd to the 10th day of cultivation. A decrease in the enzymatic activity of the culture fluid was observed on the 15th day of cultivation.

Keywords: scaling, deep cultivation, cellulolytic enzyme complex, *Irpex lacteus* (Fr.) Fr.

Чемерис Оксана Вячеславовна

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник НИЧ
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный
университет», г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: chemeris07@rambler.ru
ORCID: 0000-0002-2446-4710
AuthorID: 869557

Chemeris Oksana Viacheslavovna

Candidate of Biological Sciences,
Senior Researcher of the Research Department,
Donetsk State University,
Donetsk, DPR, Russian Federation.

Научно-практический журнал

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ
ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА**

2025

№ 3

Учредитель: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Оригинал-макет: О. В. Чемерис, И. Ф. Пирко