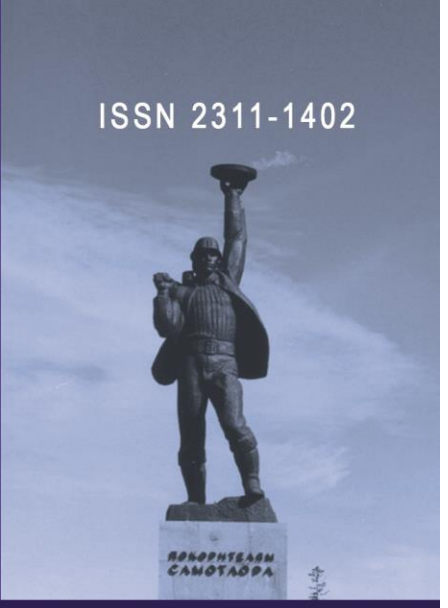
16+

ISSN 2311-1402

ВЕСТНИК

НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА



БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

2 (54)/2021

ВЕСТНИК
НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2(54) 2021

Журнал основан в 2008 г.

включен в Перечень рецензируемых научных изданий, утвержденный Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации от 01.12.2015.

https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2

Учредитель: ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 80105 от 31.12.2020.

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 – 79658 от 27.11.2020.

Подписной индекс АО «Почта России» ПП617

Периодичность издания: 4 раза в год.
Язык издания: русский, английский

Индексируется и размещается: CrossRef, Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), НЭБ КиберЛенинка (CyberLeninka), ЭБС IPRbooks, ЭБС «Лань», DOAJ, ZENODO, OpenAIRE, ZDB, Google Академия, Information Matrix for the Analysis of Journals (MIAR), Open Academic Journals Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), Dimensions, AGRIS, Open Ukrainian Citation Index.

Адрес редакции: Россия, 628616, ХМАО-Югра, г. Нижневартовск, ул. Ленина, 56. тел./факс: (3466) 44-39-50, факс: (3466) 45-18-05
e-mail: nvsu@nvsu.ru, red@nvsu.ru

Адрес издательства: Россия, 628616, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, д. 4.
Тел./факс: (3466) 24-50-51, e-mail: izd@nvsu.ru

Главный редактор: ***Горлов С. И.*** (г. Нижневартовск, Россия)

Зам. гл. редактора: ***Погонышев Д. А.*** (г. Нижневартовск, Россия)

Отв. редактор: ***Овечкина Е.С.*** (г. Нижневартовск, Россия)

Редакционная коллегия:

Аикин В. А. (г. Омск, Россия)
Войтенко А. А. (г. Москва, Россия)
Гбоко С. К. (г. Буаке, Кот-д'Ивуар)
Горшков-Кантакузен В. А. (г. Мидлсекс, Великобритания)
Дайнеко Н. М. (г. Гомель, Беларусь)
Ибрагимова Л.А. (г. Нижневартовск, Россия)
Еманов А. Г. (г. Тюмень, Россия)
Казанский М. М. (г. Париж, Франция)
Кулагин А. Ю. (г. Уфа, Россия)
Лубышева Л. И., (г. Москва, Россия)
Маймерова Г. Ш. (г. Бишкек, Кыргызстан)
Медведев С. С. (г. Санкт-Петербург, Россия)
Нурбеков Б. Ж. (г. Нур-Султан, Казахстан)
Синявский Н. И. (г. Сургут, Россия)
Солодкин Я. Г (г. Нижневартовск, Россия)
Суртаева Н. Н. (г. Санкт-Петербург, Россия)
Талыбов Т. Г. (г. Нахчыван, Азербайджан)
Фатуллаев П. У. (г. Нахчыван, Азербайджан)
Цысь В. В. (г. Нижневартовск, Россия)

16 +

Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Издатель: ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет», Россия, 628605, ХМАО-Югра, г. Нижневартовск, ул. Ленина, 56
Исполнитель: Издательство НВГУ, Россия, 628616, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, д. 4.

ISSN 2311-1402 (Print)
ISSN 2686-8784 (Online)

Поготовленно и отпечатано в изд-ве НВГУ
Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 01.06.2021
Дата выхода 20.06.2021
Формат 60×84 1/8. Гарнитура Times. Усл. печ. листов 13,5.
Тираж 1000 экз. Заказ 2176. Цена: бесплатно

Солдатова Е.Е. редактор
Овечкина Е.С. тех. редактор
Вилявин Д.В. верстка оригинал-макета

© Нижневартовский государственный университет, 2021

BULLETIN
of NIZHNEVARTOVSK STATE UNIVERSITY

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
№ 2(54)
2021

Bulletin of Nizhnevartovsk State University was founded in 2008

Included in the List of peer-reviewed scientific publications, approved by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 01.12.2015

https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2

The journal is published quarterly by the Publishing House of Nizhnevartovsk State University

Registration certificate PI number FS77-80105 on 31.12.2020.
Registration certificate EL number FS77-79658 on 31.12.2020.

Subscription index in the JSC "Russian post"- PP617.

Quarterly
Language of publication: Russian, English

Indexed: CrossRef, Russian Science Citation Index (RSCI), NES Cyber-Leninka (CyberLeninka), EBS IPRbooks, EBS Lan, DOAJ, ZENODO, OpenAIRE, ZDB, Google Academy, Information Matrix for the Analysis of Journals (MIAR), Open Academic Journals Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), Dimensions, AGRIS, Open Ukrainian Citation Index.

Editorial address: 628616, Russia, Khanty-Mansiysk Autonomous Area – Yugra, Nizhnevartovsk, st. Lenin, 56.
tel./fax: (3466) 44-39-50; (3466) 45-18-05
e-mail: nvsu@nvsu.ru, red@nvsu.ru

Publisher address: 628616, Russia, Khanty-Mansiysk Autonomous Area-Yugra, Nizhnevartovsk, st. Marshal Zhukov, 4, of. 1001. tel.: (3466) 24-50-51,
e-mail: izd@nvsu.ru

Editor-in-Chief: ***Gorlov S. I.*** (Nizhnevartovsk, Russia)
Deputy Editor: ***Pogonyshev D. A.*** (Nizhnevartovsk, Russia)
Executive editor: ***Ovechkina E.S.*** (Nizhnevartovsk, Russia)

Editorial Board:

Aikin V. A. (Omsk, Russia)
Voitenko A. A. (Moscow, Russia)
Gboko S.K. (Bouake, Côte d'Ivoire)
Gorshkov-Kantakuzen V.A. (Middlesex, UK)
Daineko N. M. (Gomel, Belarus)
Ibragimova L. A. (Nizhnevartovsk, Russia)
Emanov A. G. (Tyumen, Russia)
Kazansky M. M. (Paris, France)
Kulagin A. Yu. (Ufa, Russia)
Lubysheva L. I. (Moscow, Russia)
Maymerova G. Sh. (Bishkek, Kyrgyzstan)
Medvedev S. S. (St. Petersburg, Russia)
Nurbekov B. Zh. (Nur-Sultan, Kazakhstan)
Sinyavsky N. I. (Surgut, Russia)
Solodkin Ya. G. (Nizhnevartovsk, Russia)
Surtaeva N. N. (St. Petersburg, Russia)
Talibov T. G. (Nakhchivan, Azerbaijan)
Fatullayev P. U. (Nakhchivan, Azerbaijan)
Tsys V. V. (Nizhnevartovsk, Russia)

16+

Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISSN 2311-1402 (Print)
ISSN 2686-8784 (Online)

Prepared and printed in the publishing house of NVGU
Ed. persons. ЛР No. 020742. Signed for printing on 14.01.2021
Release date 20.03.2021
Format 60 × 84 1/8. Times typeface. CONV. print sheets 13.5.
Circulation 1000 copies. Order 2176. Free

Soldatova E.E., editor
Ovechkina E.S., technical editor
Vilyavin D.V., design, publication layout

© Nizhnevartovsk State University, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Хой К.В., Тхин Д.Б., Тхинь Б.Б.
НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОДА *CAMELLIA* L. (THEACEAE) С ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ ВО ВЬЕТНАМЕ 5

Афонин А.А.
ИНФРАДИАННЫЕ РИТМЫ СУТОЧНОГО ПРИРОСТА ПОБЕГОВ В КЛОНАХ *SALIX VIMINALIS* (SALICACEAE)....12

Максимов А.П., Трикоз Н.Н., Головнев И.И., Ковалев М.С.
БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТРОДУКЦИИ БРАХЕИ ВООРУЖЕННОЙ (*BRAHEA ARMATA* S. WATSON) НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА 23

Цибульский В.Р., Арефьев С.П., Новиков В.П., Соловьев И.Г., Говорков Д.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ШЕННОНА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ, ОБРАЗОВАННЫХ ДЕРЕВЬЯМИ-ЭДИФИКАТОРАМИ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ...32

Шестак П.С., Чаус Б.Ю., Султангареева Л.А.
РЕСУРСЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БАШКИРИИ» РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН 40

Дьякова Н.А.
АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА ТРАВОЙ *LEONURUS QUINQUELOBATUS* GILIB 48

Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Кухлевская Ю.Ф.
МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ИНТРОДУЦЕНТОВ В СООТВЕТСТВИИ С УСЛОВИЯМИ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ 57

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Хныкин А.С., Иванцова Е.А
БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ГЕРПЕТОБИОНТНОГО НАСЕЛЕНИЯ ПАУКОВ В ГОРОДЕ ВОЛГОГРАД И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ 63

Новрузов Н.Э.
РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНЫЕ РАЗЛИЧИЯ БИОЭКОЛОГИИ *MESOBUTHUS EUPEUS* (C.L. KOCH, 1839) (ARACHNIDA, SCORPIONES, BUTHIDAE) В АЗЕРБАЙДЖАНЕ 70

Берников К.А., Стариков В.П., Сарапульцева Е.С., Наконечный Н.В.
НАСЕЛЕНИЕ МЕЛКИХ НАЗЕМНЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «ЧЕУСКИНСКИЙ БОР» (ХАНТЫ-МАНСИЙСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ – ЮГРА) 82

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Погонышева И.А., Луняк И.И., Погонышев Д.А.
ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИСПЕРСИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ У СТУДЕНТОВ РАЗНЫХ ХРОНОТИПОВ 88

Шевнин И.А., Татаринцев П.Б., Рагозина О.В., Ильющенко Н.А., Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю.
ЛАТЕНТНЫЕ ФАКТОРЫ КОМПОНЕНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА С НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ДИСПЛАЗИЕЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ 93

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Чаус Б.Ю.
ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОСТОЯНСТВА ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ БЕЛАЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН) 101

Мищенко Н.В., Курочкин И.Н., Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю.
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НЕОБРАБАТЫВАЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ, ГУМУСА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ 106

Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Князев И.В., Кузнецова Т.В.
ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПРИ РАЗНОМ ОСТАТОЧНОМ СОДЕРЖАНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ 112

Пожитков Р.Ю.
РАЗОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ $PM_{2,5}$ И PM_{10} В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ г. ТОБОЛЬСК 119

Акатьева Т.Г.
ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *PHLEUM PRATENSE, FESTUCA PRATENSIS, PHALARIS CANARIENSIS* 127

CONTENT

PLANT ECOLOGY

Hoi Q.V., Thin D.B., Thinh B.B.
SOME RESEARCH ON THE GENUS *CAMELLIA* L. (THEACEAE) WITH REPRESENTATIVES IN VIETNAM 5

Afonin A.A.
INFRADIAN RHYTHMS OF DAILY SHOOT INCREMENT IN *SALIX VIMINALIS* (SALICACEAE) CLONES 12

Maksimov A.P., Trikoz N.N., Golovnev I.I., Kovalev M.S.
BIOECOLOGICAL FEATURES AND PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF *BRAHEA ARMATA* S. WATSON ON THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA 23

Tsibulsky V.R., Arefev S.P., Novikov V.P., Solovyev I.G., Govorkov D.A.
DETERMINATION OF THE SHANNON BIODIVERSITY INDEX OF PLANT COMMUNITIES FORMED BY EDIFICATORY TREES USING THE EXAMPLE OF FORESTS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA 32

Shestak P.S., Chaus B.Y., Chaus B.Y.
RESOURCES OF MEDICINAL PLANTS OF THE NATIONAL PARK «BASHKIRIA» OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN 40

Dyakova N.A.
ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND ARSENIC IN GRASS *LEONURUS QUINQUELOBATUM* GILIB. 48

Fedorova D.G., Nazarova N.M., Kukhlevskaya Yu.F.
MODIFICATION OF THE METHODOLOGY FOR SSESSING THE VIABILITY OF INTRODUCED SPECIES IN ACCORDANCE WITH THE CONDITIONS OF DRY STEPPE ZONE OF THE ORENBURG REGION 57

ANIMAL ECOLOGY

Khnyckin A.S., Ivantsova E.A.
BIOLOGICAL DIVERSITY OF THE SPIDERS HERPETOBIONT POPULATION OF DEGRADED BIOTOPES IN VOLGOGRAD CITY AND ITS SURROUNDINGS 63

Novruzov N.E.
SIZE-AGE DIFFERENCES IN THE BIOECOLOGY OF *MESOBUTHUS EUPEUS* (C.L. KOCH, 1839) (ARACHNIDA, SCORPIONES, BUTHIDAE) IN AZERBAIJAN 70

Bernikov K.A., Starikov V.P., Sarapultseva E.S., Nakonechny N.V.
POPULATION OF SMALL TERRESTRIAL VERTEBRATES OF THE NATURE MONUMENT “CHEUSKINSKY BOR” (KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA) 82

HUMAN ECOLOGY

Pogonysheva I.A., Lunyak I.I., Pogonyshev D.A.
ANNUAL DYNAMICS OF DISPERSION MAPPING INDICATORS OF ELECTROCARDIOGRAM TRACING IN STUDENTS WITH DIFFERENT CHRONOTYPES 88

Shevnin I.A., Tatarintsev P.B., Ragozina O.V., Ilyushchenko N.A., Ragozin O.N., Schalamova E.Yu.
LATENT FACTORS OF THE COMPONENTS OF PHYSICAL DEVELOPMENT IN CHILDREN AND ADOLESCENTS OF THE NORTHERN REGION WITH UNDIFFERENTIATED CONNECTIVE TISSUE DISPLASION 93

ECOLOGY AND NATURE MANAGEMENT

Chaus B.Yu.
APPROACH TO OPTIMIZING ECOLOGICAL MONITORING OF WATER QUALITY USING INDICATORS OF CONSTANCY OF HIGHER WATER VEGETATION (USING EXAMPLE OF UPPER COURSE OF WHITE RIVER IN BASHKORTOSTAN REPUBLIC) 101

Mischenko N.V., Kurochkin I.N., Chugay N.V., Kulagina E.Yu.
ASSESSMENT OF THE STATE OF SOILS OF UNCULTIVATED AGRICULTURAL LANDS BY INDICATORS OF ENZYMATIC ACTIVITY, HUMUS AND HEAVY METALS 106

Vershinin A.A., Petrov A.M., Karimullin L.K., Knyazev I.V., Kuznetsova T.V.
PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF RECULTIVATED ALLUVIAL SOILS WITH DIFFERENT RESIDUAL CONTENT OF OIL PRODUCTS 112

Pozhitkov R.Yu.
SINGLE CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER $PM_{2,5}$ AND PM_{10} IN THE LOWER LAYERS OF THE ATMOSPHEREOF TOBOLSK 119

Akateva T.G.
THE INFLUENCE OF OIL POLLUTION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF *PHLEUM PRATENSE, FESTUCA PRATENSIS, PHALARIS CANARIENSIS* 127

UDC 582.823
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/01

Hoi Q.V., Thin D.B., Thinh B.B.

SOME RESEARCH ON THE GENUS *CAMELLIA* L. (THEACEAE) WITH REPRESENTATIVES IN VIETNAM

Хой К.В., Тхин Д.Б., Тхинь Б.Б.

НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОДА *CAMELLIA* L. (THEACEAE) С ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ ВО ВЬЕТНАМЕ

Abstract. Many studies have been conducted to classify the genus *Camellia*, yet they have not been entirely consistent. Therefore, doing research on some of the taxonomic systems of the genus *Camellia* will serve as the basis for the classification and arrangement of recently discovered species into a consistent system. A series of studies based on morphology as well as molecular biology techniques, the classification of pollen spores, and the analysis of leaf anatomy were examined. The systems based on morphological characteristics were inherited and widely recognized, thereby becoming an appropriate method to classify the genus *Camellia* with representatives in Vietnam.

Keywords: *Camellia,* classification system, taxonomy, Theaceae, Vietnam.

About the authors: Hoi Quach Van, ORCID: 0000-0002-3691-941X, School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, Tay Nguyen Institute for Scientific Research, Vietnam Academy of Science and Technology, Dalat, Vietnam, quachvanhoi@gmail.com, Thin Dau Ba, ORCID: 0000-0002-6351-3335, Dr. habil., Hong Duc University, Thanh Hoa, Vietnam, daubathin@hdu.edu.vn, Thinh Bui Bao, ORCID: 0000-0002-3826-1199, School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, buibaothinh9595@gmail.com

Аннотация. Ранее были проведены исследования по классификации рода *Camellia*, но они не были достаточно полными. Изучение некоторых таксономических систем рода *Camellia* послужит основой для классификации и объединения недавно открытых видов в единую систему. Был изучен ряд исследований, основанных на морфологии, а также методах молекулярной биологии, классификации спор пыльцы и анализе анатомии листа. Системы, основанные на морфологических характеристиках, были унаследованы и широко признаны, что стало подходящим методом для классификации рода *Camellia* с представителями во Вьетнаме.

Ключевые слова: *Camellia,* система классификации, таксономия, Theaceae, Вьетнам.

Информация об авторах: Хой Куач Ван, ORCID: 0000-0002-3691-941X, Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия; Институт научных исследований, Вьетнамская академия наук и технологий, г. Далат, Вьетнам, quachvanhoi@gmail.com; Тхин Дау Ба, ORCID: 0000-0002-6351-3335, д-р биол. наук, Университет Хонгдык, г. Тханьхоа, Вьетнам, daubathin@hdu.edu.vn; Тхинь Буй Бао, ORCID: 0000-0002-3826-1199, Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия, buibaothinh9595@gmail.com

Introduction. The genus *Camellia* was first established by Linnaeus (1753) in “Species Plantarum” with the first species, *Thea sinensis* [26]. This species is widely used in China as a beverage with many health benefits [1]. Subsequently, the *Thea sinensis* species was renamed to *Camellia sinensis*. This is considered the foundation for later researches on the classification of the *Camellia*. Since then, the position of the genus *Camellia* has undergone many changes in the classification systems. Nowadays, it is widely accepted as a genus of the family Theaceae.

A series of recently published discoveries of the *Camellia* species [9-13; 25; 28; 34; 36; 37; 39; 40; 42-45] led to the fact that the number of species of this genus has continuously increased up to about 280 species [6; 33; 41]. The variation in the number of species as well as the diversity in the morphological characteristics has challenged the differentiation among species in this genus. Therefore, several studies have attempted to divide this genus into sections and sub-genera. Early studies of the genus *Camellia* classification based on morphological characteristics were performed and widespread [2; 5; 6; 21; 33; 48], being a common traditional classification method, which cannot be a substitute for the classification today. Due to the development of science and technology, many methods based on the anatomy and molecular biology were designed for studying the classification of this genus [19; 47; 50]. Despite the fact that many studies were conducted to classify the genus *Camellia*, these studies are not entirely consistent. Therefore, research on some of the taxonomic systems of the genus *Camellia* will serve as the basis for the classification and arrangement of recently discovered species into a consistent system. To implement this research, monographs and articles on the genus *Camellia* were collected and analyzed. This research focuses on classification systems based on

morphological characteristics as well as several systems based on anatomical features and molecular biology techniques.

Classification studies on the genus *Camellia* in the world. The first understanding of *Camellia* was a tea tree. Linnaeus (1753) reported this species in "Species Plantarum" with the name *Thea sinensis*, then renamed *Camellia sinensis* [26]. He further documented the *Camellia japonica*, an ornamental plant grown in Japan. Additionally, the author established two genera *Thea* and *Camellia*: *Thea sinensis* belonged to the genus *Thea* (Class *Polyandria Monogynia*) and *Camellia japonica* belonged to the genus *Camellia* (Class *Monadelphia Polyandria*). Seemann (1859) is the last author who remained *Thea* and *Camellia* names as two distinguished genera [49]. He based on previous research on both *Thea* and *Camellia* to document 40 different names, but from his perspective, he narrowed down this number to 12 species of two genera *Thea* and *Camellia*.

After Seemann (1859), the two genera *Thea* and *Camellia* were merged into a consistent name, *Camellia*. The authors have divided the *Camellia* into smaller groups. The first author categorizing the genus *Camellia* into sections was Dyer (1874). He divided the genus *Camellia* into two sections (*Thea* and *Camellia*), including 14 species [14]. Pierre (1887) classified 16 species into six sections (*Camelliopsis*, *Camellia*, *Euthea*, *Calpandria*, *Piquetia*, and *Stereocarpus*) [46]. Meanwhile, Cohen-Stuart (1916) erased two sections of Pierre (1887) and added one new section [8]. The system of Cohen-Stuart (1916) consisted of 38 species arranged into five sections (*Camelliopsis*, *Camellia*, *Calpandria*, *Eriandria*, and *Euthea*). Another author, Melchior (1925) enumerated 50 species belonging to the genus *Camellia* and divided them into three sub-genera *Piquetia*, *Stereocarpus*, and *Camellia*, in which the sub-genus *Camellia* was classified into five sections (*Calpandria*, *Eucamellia*, *Eriandria*, *Thea*, and *Theopsis*) [30].

Sealy (1958) classified the genus *Camellia* based on studies with morphological characteristics of Dyer (1874), Pierre (1887), and Cohen-Stuart (1916) [48]. He reused five sections of Cohen-Stuart (1916) and two sections *Stereocarpus* and *Piquetia* of Pierre (1886), which were excluded by Cohen-Stuart (1916). He also established five new sections, including *Archecamellia*, *Heterogenea*, *Paracamellia*, *Pseudocamellia*, and *Corallina*. Hence, the system of Sealy (1958) had a total of 82 species divided into 12 sections. Until now, it is still considered as a valuable reference for scientists interested in the genus *Camellia* all over the world (Table 1).

When revising Sealy's classification system (1958), Chang (1981) retained the two sections *Archecamellia* and *Stereocarpus* [3]. However, he moved four species from the *Archecamellia* section to the new *Chrysantha* section. In 1996, he reviewed his classification system, removed the *Archecamellia* section, and retained the *Stereocarpus* [4]. However, in 1998, the author used these two sections again as a classification system [5]. Contrary to Sealy (1958), Chang removed two sections *Heterogenea*, *Camelliopsis* and added 12 new sections, including *Protocamellia*, *Pleurocarpus*, *Oleifera*, *Furfuracea*, *Tuberculata*, *Luteoflora*, *Brachyandra*, *Longipedicellata*, *Chrysantha*, *Longissima*, *Glaberrima*, and *Eriandriia* [5]. Besides, Chang's system consisted of four sub-genera (*Protocamellia*, *Camellia*, *Thea*, and *Metacamellia*) divided into 22 sections [5]. Basically, this system is an extended upgrade from Sealy's system (1958) (Table 1).

Ming and Bartholomew created a new classification system that was based on previous research by Sealy (1958) and Chang (1981, 1998) [31-33]. Compared to previous studies, Ming's researches was modified a lot. The author divided the genus *Camellia* into two sub-genera and removed nine sections, including *Protocamellia*, *Pleurocarpus*, *Oleifera*, *Furfuracea*, *Luteoflora*, *Brachyandra*, *Chrysantha*, *Longissima*, and *Glaberrima*. Ming's systems revived the section *Heterogenea* from the system of Sealy (1958) [31; 32]. The *Heterogenea* included the *Furfuracea* and several species from the *Archecamellia* and *Stereocarpus*. The section *Archecamellia* in his system consisted of the *Chrysantha* (created by Chang earlier [3]) and the *Pleurocarpus*. The *Stereocarpus* was also significantly revised, of which *C.dormoyana* was retained, the *Luteoflora* and *C.pubipetala* (from *Chrysantha*) were added (Table 1).

Recently, 32 new species were discovered in Vietnam and Southern China. Most of them are in the south of Vietnam. Orel and Curry (2015) based on the system of Sealy (1958), Chang and Bartholomew (1984), Ming and Bartholomew (2007) to arrange these species into a new system [41]. Although the system of Ming and Bartholomew (2007) (the one has significantly reduced the number of sections and the *Camellia* genus included only two sub-genera) was created after Chang and Bartholomew's system (1984), Orel and Curry's system (2015) retained Chang and Bartholomew's (1984) previous four sub-genera: *Protocamellia*, *Camellia*, *Thea*, and *Metacamellia* [41]. Compared to Chang and Bartholomew's system (1984), the sub-genus *Protocamellia* was removed two sections *Protocamellia*, *Pleurocarpus* and added four sections *Yersinia*, *Dalatia*, *Lecomtia*, and *Capitatae*. Besides, the sub-genus *Camellia* is preserved, meanwhile, the sub-genus *Thea* was added to the two sections *Lamdongia* and *Bidoupia*, and the sub-genus *Metacamellia* was added to

the section *Pierrea*. Orel and Curry's system (2015) was significantly expanded. In this system, the genus *Camellia* was composed of up to 27 sections in which seven sections were newly created (Table 1).

Table 1

The main classification systems of the genus *Camellia* in the world (underlines are sub-genera, italics are sections)

Sealy (1958)	Chang (1981, 1998), Chang and Bartholomew (1984)	Ming (1999, 2000), Ming and Bartholomew (2007)	Orel and Curry (2015)
Archecamellia Sealy *Stereocarpus* (Pierre) Sealy *Heterogenea* Sealy *Piquetia (Pierre)* Sealy *Pseudocamellia* Sealy *Paracamellia* Sealy *Camellia (L.)* Dyer *Corallina* Sealy *Calpandria* (Bl.) Coh. St. *Thea* (L.) Dyer *Theopsis* Coh. St. *Camelliopsis* (Pierre) Sealy	**Protocamellia Chang** *Archecamellia* Sealy *Stereocarpus* (Pierre) Sealy *Protocamellia* Chang *Pleurocarpus* Chang *Piquetia* (Pierre) Sealy **Camellia Chang** *Oleifera* Chang *Furfuracea* Chang *Paracamellia* Sealy *Pseudocamellia* Sealy *Tuberculata* Chang *Luteoflora* Chang *Camellia* (L.) Dyer **Thea (L.) Chang** *Corallina* Sealy *Brachyandra* Chang *Longipedicellata* Chang *Chrysantha* Chang *Calpandria* (Bl.) Coh. St. *Thea* (L.) Dyer *Longissima* Chang *Glaberrima* Chang **Metacamellia Chang** *Theopsis* Coh. St. *Eriandriia* Coh. St. *Camelliopis* (Pierre) Sealy	**Thea (L.) Chang** *Archecamellia* Sealy Syn. sect. *Chrysantha* Chang *Thea* (L.) Dyer *Cylindrica* Ming *Piquatia* (Pierre) Sealy *Corallina* Sealy *Theopsis* Coh. St. *Eriandriia* Coh. St. *Longipedicellata* Chang **Camellia Chang** *Stereocarpus* (Pierre) Sealy *Heterogenea* Sealy Syn sect. *Archecamellia* Sealy (sensu H.T. Chang 1981, 1998) Syn. sect *Stereocarpus* (Pierre) Sealy (sensu H.T. Chang 1981, 1998) Syn. sect. *Furfuracea* Chang *Paracamellia* Sealy *Tuberculata* Chang *Camellia* (L.) Dyer *Calpandria* (Bl.) Pierre	**Protocamellia Chang** *Archecamellia* Sealy *Stereocarpus* (Pierre) Sealy *Piquetia* (Pierre) Sealy *Yersinia* Orel *Dalatia* Orel *Lecomtia* Orel *Capitatae* Orel **Camellia Chang** *Oleifera* Chang *Furfuracea* Chang *Paracamellia* Sealy *Pseudocamellia* Sealy *Tuberculata* Chang *Luteoflora* Chang *Camellia* (L.) Dyer **Thea (L.) Chang** *Corallina* Sealy *Brachyandra* Chang *Longipedicellata* Chang *Chrysantha* Chang *Calpandria* (Bl.) Coh. St. *Thea* (L.) Dyer *Longissima* Chang *Glaberrima* Chang *Lamdongia* Orel *Bidoupia* Orel, Curry & Luu **Metacamellia Chang** *Theopsis* Coh. St. *Eriandriia* Coh. St. *Pierrea* Orel

In addition to morphological classification studies, classification methods based on molecular biology techniques, the classification of pollen spores, and the analysis of leaf anatomy have been used. The classification results of Vijayan et al. (2009) published from the nrITS sequence analysis of 112 *Camellia* species gave both consensus and conflict results compared to previous morphological classification systems [50]. Although the study suggested the polyphyletic nature of the sections *Camellia*, *Paracamellia*, *Pseudocamellia*, and *Tuberculata* as well as the paraphyletic nature of the section *Chrysantha*, it did not support the sectional status of three small sections, *Archecamellia*, *Piquetia*, and *Sterocarpus*.

Jiang et al. (2010) conducted a multivariate analysis of leaf shape, anatomy, and Fourier Transform Infrared (FTIR) data of 27 *Camellia* species with secretory structure (from the sections *Archecamellia*, *Stereocarpus*, *Furfuracea*, and *Chrysantha* according to Chang's system (1998)), together with three species from related genera, *Gordonia* and *Tutcheria* (Theaceae), to clarify some taxonomic problems [19]. This study indicated that integrated leaf characters based on leaf shape, anatomy, and FTIR data were useful in the taxonomic treatment of *Camellia* species with secretory structures. The results of this study also tended to support that the *Chrysantha* species should not be merged into section *Archecamellia*. Moreover, Jiang et al. (2017) classified *Camellia* based on the color intensity of red, green, and blue leaves with assistive devices [20]. This study aimed to accurately distinguish 68 species of the Camellia from the five sections *Furfuracea*, *Paracamellia*, *Tuberculata*, *Theopsis*, and *Camellia* according to Chang's classification (1998). As a result, a hierarchical dendrogram and clustering of sections were created.

Lu et al. (2012) used the leaf morphology and venation characters from 93 species of the genus *Camellia* in five sections, including *Furfuracea*, *Paracamellia*, *Tuberculata*, *Camellia*, and *Theopsis* [27]. This study resulted in a clustering dendrogram of sections similar to the previous study. Thus, the analysis of leaf structure

data is useful for identifying *Camellia* species. Lu et al.'s study (2012) complements the traditional studies that used earlier leaf morphological characteristics [27].

Classification studies on the genus *Camellia* in Vietnam. The earliest study of the genus *Camellia* in Vietnam was of the French author Lanessan (1886) with the first two species *Thea dormoyana* and *Thea piquetiana* [22]. Later, these two species were grouped into the genus *Camellia*. During the 20th century, the number of authors published researches about *Camellia* species in Vietnam increased. Gagnepain (1939) additionally published three species *Thea amplexicaulis*, *Thea tonkinensis*, and *Thea flava* [15]. Meanwhile, Chevalier (1919) published the next two species *Thea fleuryi* and *Thea gilberti* found in Vietnam [7]. Especially, these are also the first species of the genus *Camellia* in the world being described as having yellow flowers. In the monograph of Sealy (1958) documented 27 species of the genus *Camellia* in Vietnam [48], including *C. amplexicaulis*, *C. pleurocarpa*, *C. krempfii*, *C. dormoyana*, *C. piquetiana*, *C. oleifera*, *C. furfuracea*, *C. gaudichaudii*, *C. kissi*, *C. corallina*, *Thea yersini*, *Thea nervosa*, *C. nematodea*, *C. gilberti*, *C. flava*, *C. euphlebia*, *C. petelotii*, *C. indochinensis*, *C. tonkinensis*, *C. fleuryi*, *C. pubicosta*, *C. sinensis*, *C. gracilipes*, *C. forrestii*, *C. tsaii*, *C. tsingpienensis*, and *C. caudata*.

The latter period marked the presence of Vietnamese authors. The authors with typical research on the genus *Camellia* can be mentioned: Ho (1991, 1999) with "Flora of Vietnam", Ninh (2002) with "Diversity of Camellia species in Vietnam", and most recently Hien (2017) with the study on the Theaceae family in "Flora of Vietnam" [16; 17; 18; 35]. Ho (1991, 1999) classified the Theaceae family into ten genera: *Anneslea*, *Archytea*, *Pyrenaria*, *Camellia*, *Gordonia*, *Eurya*, *Temstroemia*, *Tristylum*, *Adinandra*, and *Hartia* [17; 18]. Of these, the genus *Camellia* has a superior ovary, an unbundled pistil, large flowers with many bracteoles like sepals, a capsule, and round wingless seeds. He also divided the *Camellia* into four sub-genera: Protocamellia (*Stereocarpus* and *Archecamellia*), Camellia (*Camellia*), Thea, and Metacamellia. The study of Ho (1999) has recorded and described 30 *Camellia* species that existed in the territory of Vietnam [18]. This is also considered the first comprehensive systematic announcement dedicated to *Camellia* species in Vietnam. However, this system was just an application of Chang and Bartholomew's system (1984) to the *Camellia* species in Vietnam. According to Ninh (2002), there are 50 species of *Camellia* in Vietnam [35]. He divided this genus into four sub-genera Protocamellia (*Archecamellia*, *Stereocarpus*, and *Piquetia*), Camellia (*Oleifera*, *Furfuracea*, *Paracamellia*, and *Camellia*), Thea (*Corallina*, *Branchyandra*, *Longipedicellata*, *Chrysantha*, *Thea*, and *Longissima*), and Metacamellia (*Theopsis* and *Eriandria*) [35]. Nonetheless, Ninh's research (2002) did not provide criteria for classification, as well as classification keys for taxonomic orders in the genus *Camellia*, and it is based on the system of Chang and Bartholomew (1984) as well. Although Ninh's system (2002) also included four genera, he classified and expanded the genus *Camellia* into more sections than the system of Ho (1999) (Table 2).

Table 2

Some taxonomy systems of the genus *Camellia* with representatives in Vietnam (underlines are sub-genera, italics are sections)

Ho (1999)	Ninh (2002)	Hien (2017)
<u>Camellia Chang</u> *Camellia* (L.) Dyer **<u>Thea (L.) Chang Protocamellia Chang</u>** *Archecamellia* Sealy *Stereocarpus* (Pierre) Sealy **<u>Metacamellia Chang</u>**	**<u>Camellia Chang</u>** *Camellia* (L.) Dyer *Oleifera* Chang *Furfuracea* Chang *Paracamellia* Sealy **<u>Thea (L.) Chang</u>** *Corallina* Sealy *Brachyandra* Chang *Longipedicellata* Chang *Chrysantha* Chang *Thea* (L.) Dyer *Longissima* Chang **<u>Protocamellia Chang</u>** *Archecamellia* Sealy *Stereocarpus* (Pierre) Sealy *Piquetia* (Pierre) Sealy **<u>Metacamellia Chang</u>** *Theopsis* Coh. St. *Eriandriia* Coh. St.	**<u>Camellia Chang</u>** *Camellia* (L.) Dyer *Heterogenea* Sealy *Stereocarpus* (Pierre) Sealy *Paracamellia* Sealy **<u>Thea (L.) Chang</u>** *Piquatia* (Pierre) Sealy *Archecamellia* Sealy *Corallina* Sealy *Cylindrica* Ming *Thea* (L.) Dyer *Longipedicellata* Chang *Theopsis* Coh. St. *Eriandriia* Coh. St.

Hien (2017) reported 54 species of *Camellia* in Vietnam [16]. His research was based on Ming's classification system (1999, 2000), dividing the genus *Camellia* in Vietnam into two sub-genera and 12 sections. The sub-genus *Thea* consisted of species with clear peduncle, bracts attached to the peduncle, as well as not deciduous bracts and sepals. This sub-genus included sections *Piquetia*, *Archecamellia*, *Corallina*, *Cylindricea*, *Thea*, *Longipedicellata*, *Theopsis*, and *Eriandria*. The sub-genus *Camellia* was composed of species with almost sessile flowers, sepals closely attached bracts, as well as deciduous bracts and sepals. To divide it into sections, the author based on characteristics such as whether stigmas stick together or separate, the size of the leaf blade is large, medium, or small, and the bracts will soon fall or not. The number of bracts was also used to divide into sections *Heterogenea*, *Stereocarpus*, *Camellia*, and *Paracamellia* (Table 2).

There are also some other studies on the *Camellia* in Vietnam that can be mentioned. Ninh (2003) documented 16 species of the *Camellia* with yellow flowers mostly distributed in northern Vietnam [38]. However, his research does not represent a large number of *Camellia* species. Moreover, Ninh's publication did not accompany any descriptions or classifications according to the system. Le and Dung's collection (2016) of all yellow *Camellia* species in Vietnam showed that Vietnam had 34 species of *Camellia* with yellow flowers [23]. However, except for the *Camellia* with yellow flowers, their study did not report any other *Camellia* species, as well as classified them into the classification system. Manh et al. (2019) have reported 52 Camellia species with yellow flowers distributed in South China and Vietnam [29]. This study only documented approximately 40 *Camellia* species existing in Vietnam without determining the exact number of this species in Vietnam. Most recently, Le et al. (2020) has published a list of species of the Theaceae in Vietnam, including the document of 95 species of the *Camellia* in Vietnam [24]. The number of the *Camellia* species is very large, but the authors only based on documents without mentioning the research fieldwork. In other words, the authors did not study in detail the taxonomy of the genus *Camellia*.

It can be stated that the genus *Camellia* is the largest genus in the family Theaceae that many scientists have concerned about. Many new species were published, many methods were used, and many classification systems were applied. In particular, the classification with morphological characteristics is still considered as the main method which basically cannot be replaced, especially in Vietnamese conditions. Although there are so many classification systems of the genus *Camellia* in the world and in Vietnam, the ones of Sealy (1958), Chang (1981, 1998), Chang and Bartholomew (1984), and most recently Orel and Curry (2015) are widely recognized. In Vietnam, there are three main systems including Ho (1999), Ninh (2002) and Hien (2017) (Table 2). In which there are two systems of Ho (1999) and Ninh (2002) based on Chang's system (1998), which was extended by Orel and Curry (2015). These systems are inherited and widely used to classify the genus *Camellia* with representatives in Vietnam.

Conclusions. This is the first integrated study of the genus *Camellia* research with representatives in Vietnam. Many classification systems as well as methods have been applied to the classification of the genus *Camellia*. The traditional classification method based on morphological characteristics is still widely accepted and cannot be replaced in the classification of the genus *Camellia* both in the world and in Vietnam. Nonetheless, there were not many studies that specialized in classifying the genus *Camellia* was conducted by Vietnamese researchers. Thus, this study provided an overview of the studies for the genus *Camellia* with representatives from Vietnam, setting the stage for selecting a suitable system that will be used for the classification study of the genus *Camellia* of Vietnam.

References

1. Agarwal, U., Pathak, D. P., Bhutani, R., Kapoor, G., & Kant, R. (2017). Review on *Camellia sinensis*: Nature's Gift. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 9(8), 1119–1126. https://doi.org/10.25258/phyto.v9i08.9619

2. Airy-Shaw, H. K. (1936). Notes on the genus *Schima* and on the classification of the Theaceae – Camellioideae. *Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Botanic Gardens, Kew)*, 496-499. https://doi.org/10.2307/4111785

3. Chang, H. T. (1981). A taxonomy of the genus Camellia. *The editorial staff of the Joornal of Sun Yatsen Univesity*, 1–180.

4. Chang, H. T. (1996). Diagnosis on the systematic development of Theaceae VII. The taxonomic problem of section *Glaberrima* Chang of *Camellia*. *Act Sci Nat Univ Sunyats*, *35*, 87–90.

5. Chang, H. T. (1998). Theaceae. *Flora Republ. Pop. Sin. Science Press*, *49*, 195–251.

6. Chang, H. T., & Bartholomew B. (1984). *Camellias*. B. T. Bastford Ltd., London, 211 p.

7. Chevalier, A. (1919). Premier inventaire des bois et autres produits forestiers du Tonkin. *Bulletin Économique de l'Indochine*, *22*, 495–539.

8. Cohen-Stuart, C. P. (1916). Voorbereidende Onderzoekingen ten-dienste van de Selektie der Theeplant. *Mededeelingen van het Proefstation voor Thee*, *40*, 1–328.

9. Curry, A. (2017). Three new Camellia species from northern Vietnam. *Int. Camellia J.*, *49*, 44–48.

10. Do, N. D., Luong, V. D., Le, T. H., Nguyen, D. H., Nguyen, T. N., & Ly, N. S. (2020). *Camellia ngheanensis* (Sect. *Chrysantha*: Theaceae), a new species from Central Vietnam. *Phytotaxa*, 452(3), 209–216. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.452.3.3

11. Dung, L. V., Anna, L., Hanh, N. T., & Lieu, N. T. (2016). *Camellia thuongiana* – a new yellow *Camellia* species from Vietnam. *Dalat University Journal of Science*, 6(3), 338–344. http://dx.doi.org/10.37569/DalatUniversity.6.3.78(2016)

12. Dung, L. V., & Ninh, L. N. H. (2016). *Camellia ninhii* – A New Yellow *Camellia* Species from Vietnam. *Proceedings of Dali International Camellia Congress, Dali Yunnan China*, 76–78.

13. Dung, L. V., Son, H. T., Ninh, T., & Nhan, P. H. (2016). *Camellia quangcuongii* (Theaceae), a new species from Vietnam. *J. Jpn. Bot.*, *91*, 226–230.

14. Dyer, W. T. T. (1874). *Ternstroemiaceae*. The Flora of British India. Vol. 1, 292 p.

15. Gagnepain, F. (1939). Deux bixacees nouvelles ou peu connues. *Notul. Syst. (Paris)*, *8*, 131–132 (in French and Latin).

16. Hien, N. H. (2017). *Thuc vat chi Viet Nam (Flora of Vietnam), ho Che -Theaceae D. Don*, Publishing House for Science and Tecnology, Hanoi, 128-147 (in Vietnamese).

17. Ho, P. H. (1991). *Cây cỏ Việt nam, Vol. 1*, Mekong Printing, Santa Ana, 618 p. (in Vietnamese).

18. Ho, P. H. (1999). *Theaceae: In Cây cỏ Việt Nam [An illustrated flora of Vietnam] vol.1*, Youth Publishing House, Ho Chi Minh City, 424-432 (in Vietnamese with English summary).

19. Jiang, B., Peng, Q. F., Shen, Z. G., Moller, M., Pi, E. X., & Lu, H. F. (2010). Taxonomic treatments of Camellia (Theaceae) species with secretory structures based on integrated leaf characters. *Plant Syst Evol*, *290*, 1–20. https://doi.org/10.1007/s00606-010-0342-x

20. Jiang, W., Tao, Z. M., Wu, Z. G., Mantri, N., Lu, H. F., & Liang, Z. S. (2017). *Camellia* (Theaceae) classification with support vector machines based on fractal parameters and red, green, and blue intensity of leaves. *Bangladesh J. Plant taxon*, 24(1), 65–81. https://doi.org/10.3329/bjpt.v24i1.33034

21. Keng, H. (1962). Comparative morphological studies in Theaceae. *Univ. Calif. Publ. Bot*., *33*, 269–384.

22. Lanessan, J. L. (1886). *Les plantes utiles des Colonies Françaises*. Imprimerie Nationale, Paris, 990 p.

23. Le, N. H. N., & Dung, L. V. (2016). General Information about the Yellow Camellia Species in Vietnam. *Proceedings of Dali International Camellia Congress, Dali Yunnan China*, 80–84.

24. Le, N. H. N., Luong, V. D., Nguyen, V. C., Pham, T. T. D., Luu, T. T., & Pham, V. T. (2020). An updated checklist of Theaceae and a new species of *Polyspora* from Vietnam. *Taiwania*, 65(2), 216–227. https://doi.org/10.6165/tai.2020.65.216

25. Le, N. N. H., Uematsu, C., Katayama, H., Nguyen, L. T., Tran, N., Luong, D. V., & Hoang, S. T. (2017). *Camellia tuyenquangensis* (Theaceae), a new species from Vietnam. *Korean J. Pl. Taxon.*, 47(2), 95−99. https://doi.org/10.11110/kjpt.2017.47.2.95

26. Linnaeus, C. (1753). *Camellia*, Species Plantarum II, 698 p.

27. Lu, H., Jiang, W., Ghiassi, M., Lee, S., & Nitin, M. (2012). Classification of Camellia (Theaceae) Species Using Leaf Architecture Variations and Pattern Recognition Techniques. *PLoS ONE*, 7(1), e29704. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029704

28. Luong, V. D., Luu, H. T., Nguyen, T. Q. T., & Nguyen, Q. D. (2016). *Camellia luteopallida* (Theaceae), a new species from Vietnam. *Ann. Bot. Fennici*, *53*, 135–138. https://doi.org/10.5735/085.053.0224

29. Manh, T. D., Thang, N. T., Son, H. T., Thuyet, D. V., Trung, P. D., Tuan, N. V., Duc, D. T., Linh, M. T., Lam, V. T., Thinh, N. H., Phuong, N. T. T, & Do, T. V. (2019). Golden *Camellias*: A Review. *Archives of Current Research International*, 16(2), 1–8. https://doi.org/10.9734/acri/2019/v16i230085

30. Melchior, H. (1925). *Theaceae*, Die Natürlichen Pflanzenfamilien, 2nd ed. Duncker & Humblot, Berlin, 109–154.

31. Ming, T. L. (1999). A systematic synopsis of the genus Camellia. *Acta Botanica Yunnanica*, *21*, 149–159.

32. Ming, T. L. (2000). *Monograph of the Genus Camellia*, Yunnan Science and Technology Press, Kunming, 352 p.

33. Ming, T. L., & Bartholomew, B. (2007). *Theaceae*, In Flora of China. Vol. 12. Hippocastanaceae through Theaceae. Wu, Z.-Y., P. H. Raven and D. Y. Hong (eds.), Science Press, Beijing and Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, MO, 366–478.

34. Nguyễn, D. H., Lương, V. D., Lê, T. H., Trần, Q. T., Đỗ, N. Đ., & Lý, N. S. (2020). *Camellia puhoatensis* (Sect. *Archecamellia*–Theaceae), a new species from Vietnam. *PhytoKeys*, *153*, 1–11. https://doi.org/10.3897/phytokeys.153.49388

35. Ninh, T. (2002). Biodiversity of the genus *Camellia* of Vietnam. *International Camellia Journal*, *34*, 80–85.

36. Ninh, T. (1998). *Camellia cucphuongensis*: A new species of yellow Camellia from Vietnam. *International Camellia Journal*, *30*, 71–72.

37. Ninh, T. (1998). *Camellia rosmannii*: A new species of yellow Camellia from Vietnam. *International Camellia Journal*, *30*, 72–75.

38. Ninh, T. (2003). Results of the Study on Yellow Camellias of Vietnam. *International Camellia Journal*, *35*, 73–75.

39. Ninh, T., & Dung, L. V. (2013). *Camellia dilinhensis*: A new yellow species from Vietnam. *International Camellia Journal*, *45*, 87–89.

40. Ninh, T., Hakoda, N., & Luong, V. D. (2012). A new species of yellow *Camellia* (Sect. *Piquetia*) from Vietnam. *International Camellia Journal*, *44*, 61–62.

41. Orel, G., & Curry, A. S. (2015). *In pursuit of hidden Camellias; or 32 new* Camellia *species from Vietnam and China*, Theaceae Exploration Associates, Sydney, Australia, 339 p.

42. Orel, G., & Wilson, P. G. (2010). A new species of *Camellia* sect. *Stereocarpus* (Theaceae) from Vietnam. *Novon*, 20(2), 198–202. https://doi.org/10.3417/2008096

43. Orel, G., & Wilson, P. G. (2010). *Camellia luteocerata* sp. nov. and a new section of *Camellia (Dalatia)* from Vietnam. *Nord. J. Bot.*, 28(3), 280–284. https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2010.00652.x

44. Orel, G., Wilson, P. G., & Luu, H. T. (2014). *Camellia curryana* and *C. longii* spp. nov. (Theaceae) from Vietnam. *Nord. J. Bot.*, *32*, 42–50. https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2013.00399.x

45. Pham, V. T., Luong, V. D., Leonid, V. A., Trinh, N. B., Nguyen, T. L., & Nguyen, T. L. T. (2019). *Camellia velutina* (Theaceae, sect. *Chrysantha*), a new species from northern Vietnam. *Pak. J. Bot.*, 51(4), 1441–1446. https://doi.org/10.30848/PJB2019-4(33)

46. Pierre, L. (1887). *Flore Forestiere de Cochinchine*, Octave Doin, Paris, *2*, 119 p.

47. Prince, L. M., & Parks, C. (2001). Phylogenetic relationships of Theaceae inferred from chloroplast DNA sequence data. *Am. J. Bot.*, *88*, 2309–2320. https://doi.org/10.2307/3558391

48. Sealy, J. R. (1958). *A revision of the genus Camellia*, Royal Horticultural Society, London, 239 p.

49. Seemann, B. (1859). Synopsis of the Genera *Camellia* and *Thea*. *Transactions of the Linnean Society of London*, 22(4), 337–352.

50. Vijayan, K., Zhang, W., & Tsou, C. (2009). Molecular taxonomy of *Camellia* (Theaceae) inferred from nrITS sequences. *American Journal of Botany*, 96(7), 1348–1360. https://doi.org/10.3732/ajb.0800205

Hoi Q.V., Thin D.B., Thinh B.B. Some Research on the Genus *Camellia L.* (Theaceae) with Representatives in Vietnam // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2021. № 2(54). С. 5–11. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/01

Hoi, Q.V., Thin, D.B. & Thinh, B.B. (2021). Some Research on the Genus *Camellia L.* (Theaceae) with Representatives in Vietnam. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2(54)), 5–11. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/01

дата поступления: 19.10.2020 дата принятия: 17.12.2020

УДК 582.623.2:581.14:57.034
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/02

Афонин А.А.

ИНФРАДИАННЫЕ РИТМЫ СУТОЧНОГО ПРИРОСТА ПОБЕГОВ В КЛОНАХ *SALIX VIMINALIS* (SALICACEAE)

Afonin A.A.

INFRADIAN RHYTHMS OF DAILY SHOOT INCREMENT IN *SALIX VIMINALIS* (SALICACEAE) CLONES

Аннотация. Описана и проанализирована структура сезонной динамики суточного прироста побегов ивы корзиночной (*Salix viminalis*). Объект – модельная инбредно-клоновая популяция *S. viminalis*. Материал – нарастающие побеги на однолетних черенковых саженцах. Методы – сравнительно-морфологические, хронобиологические, численный анализ временных рядов. Описано формирование диморфных корневых систем однолетних черенковых саженцев. Установлено, что сезонная динамика суточного прироста побегов определяется взаимодействием линейных и нелинейных компонент. Линейные компоненты аппроксимируются соответствующими уравнениями регрессии, нелинейные компоненты – уравнениями гармонических колебаний. Описана ритмичность сезонной динамики нарастания побегов. Выявлены четыре группы биоритмов: аннуальные с периодом порядка 96 сут, субаннуальные с периодом 40–64 сут, инфрадианные с периодом 19–24 сут и инфрадианные с периодом 10–16 сут. Чередование пиков и провалов в сезонной динамике нарастания побегов определяется инфрадианными биоритмами с периодом 19–24 сут. Инфрадианные биоритмы с разными периодами синхронизированы между собой. Вероятная причина – существование импульсного синхронизатора биоритмов. Межклоновые различия в сезонной динамике суточного прироста побегов не выявлены. Вероятная причина внутриклоновых различий – онтогенетическая гетерогенность вегетативных почек, из которых развились однолетние побеги. Для верификации данной гипотезы планируются наблюдения за развитием саженцев, выращенных из черенков, заготовленных из разных частей маточных побегов. Полученные результаты рекомендуется учитывать при планировании агролесотехнических мероприятий по уходу за культурами *S. viminalis*.

Ключевые слова: ива корзиночная, *Salix viminalis*, однолетние саженцы, черенковые саженцы, однолетние побеги, суточный прирост, траектории роста, аннуальные биоритмы, субаннуальные биоритмы, инфрадианные биоритмы.

Сведения об авторах: Афонин Алексей Алексеевич, ORCID: 0000-0002-9392-2527, д-р с.-х. наук, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, г. Брянск, Россия, afonin.salix@gmail.com

Abstract. The structure of seasonal dynamics of daily growth of shoots of basket willow (*Salix viminalis*) is described and analyzed. Object: model inbred-clone population of *S. viminalis*. Material: developing shoots on annual saplings from cuttings. Methods: comparative morphological, chronobiological, numerical analysis of time series. The formation of dimorphic root systems of one-year saplings from cuttings is described. It is established that the seasonal dynamics of daily increment of shoots is determined by the interaction of linear and nonlinear components. Linear components are approximated by regression equations, and nonlinear components are approximated by harmonic oscillation equations. The rhythmicity of seasonal dynamics of shoot growth is described. Four groups of biorhythms were identified: annual with a period of about 96 days, subannual with a period of 40…64 days, and infradian with a period of 19…24 days and infradian with a period of 10…16 days. The alternation of peaks and dips in the seasonal dynamics of shoot increment is determined by infradian biorhythms with a period of 19...24 days. Infradian biorhythms with different periods are synchronized with each other. The probable reason is the existence of a pulse synchronizer of biorhythms. Interclonal differences in the seasonal dynamics of the daily growth of shoots were not revealed. The probable cause of intraclonal differences is the ontogenetic heterogeneity of vegetative buds, from which annual shoots have developed. To verify this hypothesis, we plan to observe the development of seedlings grown from cuttings harvested from different parts of the uterine shoots. The results obtained are recommended to be taken into account when planning agroforestry measures for crop of *S. viminalis*.

Keywords: basket willow, *Salix viminalis*, one-year saplings, saplings from cuttings, one-year shoots, daily increment, growth trajectories, annual biorhythms, subannual biorhythms, infradian biorhythms.

About the author: Afonin Alexey Alekseevich, ORCID: 0000-0002-9392-2527, Dr. habil., Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, Bryansk, Russia, afonin.salix@gmail.com

Salix viminalis (ива корзиночная, или прутовидная) – общеизвестный представитель кустарниковых ив секции *Vimen* (*Vetrix, Salix*, Salicoids, Salicaceae, Malpighiales) [30; 33]. В природе этот вид распространен от Атлантической Европы на западе до Центральной Сибири на востоке и от Скандинавии на севере до Средиземного моря на юге [11]. В культуре благодаря высокой продуктивности и способности как к семенной репродукции, так и к аутовегетативному размножению черенками, используется для создания сырьевых плантаций, включая энергетические плантации с коротким оборотом срезки (SRC) [27; 11; 15]. Традиционно служит источником высококачественного

прута для плетения [1; 6; 8]. Используется как биофильтр при очистке сточных вод и как фиторемедиатор при восстановлении загрязненных почв [17; 20; 26]. Кора содержит био-масла – антиоксиданты, которые обладают защитной активностью против окислительного стресса [19]. Плантации ивы – хорошие модели для изучения теории биоразнообразия и функций экосистем [35]. Знания о биологии видов ивы, полученные в результате многолетних исследований сырьевых культур, используются для решения целого ряда экологических проблем [21].

Как и многие другие виды ив, *S. viminalis* характеризуется высоким уровнем внутрипопуляционного полиморфизма [11]. Значительная внутривидовая изменчивость продуктивности создает новые возможности для улучшения параметров урожайности [31; 32]. Для создания культур *S. viminalis* используется размножение высокопродуктивных клонов этого вида стеблевыми черенками, причем способ черенкования и технология посадки существенно влияют на приживаемость и дальнейшую продуктивность плантаций [12; 13]. Особое значение имеет быстрый рост черенковых саженцев ив в первый год жизни, что обусловлено формированием корневой системы и конкуренцией с сорной растительностью [6; 36]. На приживаемость и рост черенковых саженцев существенно влияют эдафо-гидрологические условия [15; 24; 29].

Известно [16], что у древесных растений умеренных широт адаптация к местному климату приводит к ежегодным циклам роста и покоя, и оптимальное регулирование этих циклов имеет решающее значение для роста, долгосрочного выживания и конкурентного успеха. Деревья и кустарники демонстрируют богатое разнообразие ритмических явлений. Это происходит либо из-за влияния окружающей среды, либо из-за функционирования эндогенных осцилляторов, независимых от окружающей среды [23]. Параметры эндогенных биоритмов определяются структурой самого организма. С позиций нелинейной динамики многодневные (инфрадианные) биоритмы могут возникать без участия генетических осцилляторов и внешних синхронизаторов, если каждая последующая биологическая реакция зависит от предыдущей [7]. Физиологические процессы, определяющие регуляцию ритмов роста, изучены недостаточно [25]. Синхронизация осцилляторов даже самого простого физического вида до сих пор не совсем понятна [22].

Цель данного исследования – выявить структуру сезонных ритмов нарастания побегов *S. viminalis* на генетически выровненном материале, культивируемом в однородных условиях.

Материал и методы. Исследования проводились в салицетуме Брянского государственного университета (53°16′23.50″ с. ш., 34°21′11.50″в. д.). Тип почв – серые лесные на лессовидном покровном суглинке с меловыми подстилающими породами. Тип лесорастительных условий (ТЛУ) – D3 (мезогигрофильная дубрава). Объект исследования – модельная инбредно-клоновая популяция *S. viminalis*. Материал – нарастающие однолетние побеги на черенковых саженцах первого года жизни. Для получения материала в данном исследовании использованы клоны двух сеянцев (*vi* 40♀ и *vi* 43♂), которые были получены в культуре методом регулярного инбридинга. Подробная родословная указанных сеянцев описана нами ранее [2; 3].

При разработке дизайна эксперимента использовались общепринятые подходы [18]. Модельная популяция была создана весной 2020 г. путем посадки неукорененных черенков. Первоначальное число черенковых саженцев каждого клона – *vi* 40 и *vi* 43 – по 18 ед. Подробное описание технологии создания модельной популяции опубликовано нами ранее [4].

Все саженцы формировали в один побег. Наблюдения за развитием побегов проводили в течение вегетационного периода 2020 г. (календарные даты наблюдений ϑ записывали в формате DD.MM). Каждые 4 сут (с 09.05 по 06.09) замеряли длину побегов – L, см. На протяжении вегетационного периода часть саженцев выкапывали для контроля развития корневых систем. Для окончательного анализа использовали 13 побегов клона *vi* 40 (382 измерения длины) и 11 побегов клона *vi* 43 (317 измерений длины).

Суточный прирост побегов – ΔL, см/сут – для каждой даты вычисляли методом скользящей рамки (интервал – 8 сут, шаг – 4 сут). Полученные результаты были обработаны с использованием стандартных процедур вариационной статистики [10]. Для анализа временны̀х рядов календарные даты пронумеровали: 1, 5, 9… t_i. За t = 1 была принята дата 06.06.

Для описания сезонной изменчивости развития побегов использовали следующие типы временны̀х рядов:

– $L(\vartheta)$, см – траектории роста – эмпирические графики, отражающие зависимость длины побегов L, см от календарной даты ϑ;

– $\Delta L(\vartheta)$, см/сут и $\Delta L(t)$, см/сут – траектории суточного прироста – эмпирические графики, отражающие зависимость суточного прироста побегов ΔL, см/сут от календарной даты ϑ либо принятого порядкового номера дня t;

– $\Delta L(t)_{lin}$, см/сут – траектории линейных сезонных трендов суточного прироста побегов – временны̀е ряды, отражающие линейную зависимость суточного прироста ΔL, см/сут от принятого порядкового номера дня t;

– $dL(\vartheta)$, см/сут и $dL(t)$, см/сут – траектории отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов – графики, отражающие нелинейную зависимость отклонений dL, см/сут от календарной даты ϑ либо от принятого порядкового номера дня t.

На основании эмпирических временны̀х рядов вычислялись средние ряды – av (*average*). При описании временны̀х рядов использовалась общепринятая терминология [5].

Траектории $dL(t)$ аппроксимировали суммами гармонических колебаний (гармоник). Параметры гармоник – периоды колебаний τ (сут), амплитуды A, начальные фазы φ – вычисляли итерационным методом, используя ресурсы MSO Excel. В тексте при изложении и обсуждении полученных результатов периоды колебаний были округлены до целых значений. Надежность аппроксимации оценивали, используя коэффициент детерминации R^2 и F-критерий Фишера. По мере необходимости вычислялись средние ряды гармоник (av) и результирующие суммы гармоник. Вклад гармоник, средних рядов и результирующих колебаний в общую ритмичность dL оценивали, используя значения их амплитуд A.

Результаты. Укореняемость высаженных черенков *S. viminalis* составила 100%. На всех черенках образовалось два типа корней: тонкие и скелетные. Многочисленные тонкие (эфемерные) горизонтально ориентированные корни, равномерно распределенные по всей подземной части черенков, сформировались в первой половине мая. Немногочисленные скелетные корни (глубокие, направленные вниз и вбок) начали образовываться на нижних срезах черенков в первой декаде июня.

Активный рост побегов начался 09.05. Для анализа были использованы хорошо развитые побеги (13 клона *vi* 40 и 11 клона *vi* 43), завершившие рост 29.08–02.09. Годичный прирост этих побегов составил L = 138-205 см на саженцах клона *vi* 40 и L = 132-192 см на саженцах клона *vi* 43. Среднегодовой суточный прирост побегов: ΔL_{av} = 1,54±0,034 см/сут на саженцах клона *vi* 40 и ΔL_{av} = 1,40±0,035 см/сут на саженцах клона *vi* 43. В течение мая суточный прирост составлял ΔL = 0,6-2,1 см/сут. В начале лета суточный прирост резко возрос и достиг максимума в конце первой половины июня (06.06–14.06): ΔL = 2,4-3,3 см/сут на саженцах клона *vi* 40 и ΔL = 2,0-3,1 см/сут на саженцах клона *vi* 43. В последней декаде августа суточный прирост снизился до минимальных значений.

Линейные сезонные тренды суточного прироста побегов – $\Delta L(\vartheta)_{lin}$, см/сут – были рассчитаны в интервале дат от 06.06 (день, предшествующий максимуму 10.06; t = 1) до 29.08 (t = 85). Надежность линейной аппроксимации рядов $\Delta L(\vartheta)$ варьировалась в широких пределах: R^2 = 0,181-0,912. Соответственно, вклад нелинейных компонент в сезонную изменчивость ΔL составил 0,088-0,819. Все линейные тренды суточного прироста охарактеризовались отрицательной динамикой. Средняя скорость уменьшения суточного прироста на большинстве побегов составила 0,023±0,0011 см/сут^2 (исключение составили два побега разных клонов с уменьшением суточного прироста на 0,005–0,007 см/сут^2). Вычисленные средние значения суточного прироста – 1,2–1,9 см/сут – распределены непрерывно. Скорости уменьшения суточного прироста большинства побегов (за исключением двух вышеуказанных) – 0,014–0,033 см/сут^2 – также распределены непрерывно.

Траектории отклонений суточного прироста от линейных сезонных трендов – $dL(\vartheta)$, см/сут – показаны на рисунке 1 (траектории клона *vi* 40 даны синим цветом, клона *vi* 43 – красным; средняя фактическая траектория $dL(\vartheta)_{av}$ показана маркером ○).

На траекториях $dL(\vartheta)$ всех исследованных побегах и средней траектории $dL(\vartheta)_{av}$ выявлены пики dL (10.06, 30.06, 20.07 и 09.08) и среднелетний провал (12.07). На траекториях $dL(\vartheta)$ отдельных побегов каждого клона обнаружены дополнительные пики – 22.06 и 08.07.

Эмпирические ряды $dL(\vartheta)$ были аппроксимированы суммами гармоник с периодом колебаний от 10 до 96 сут. Надежность такой аппроксимации очень высокая: при девяти итерациях R^2=0,957-0,992, F=23,3-126,7 (P<0,001). На каждом побеге была реализована только часть полной матрицы гармоник. Гармоники, которые были выявлены на большинстве побегов, использовались для дальнейшего анализа.

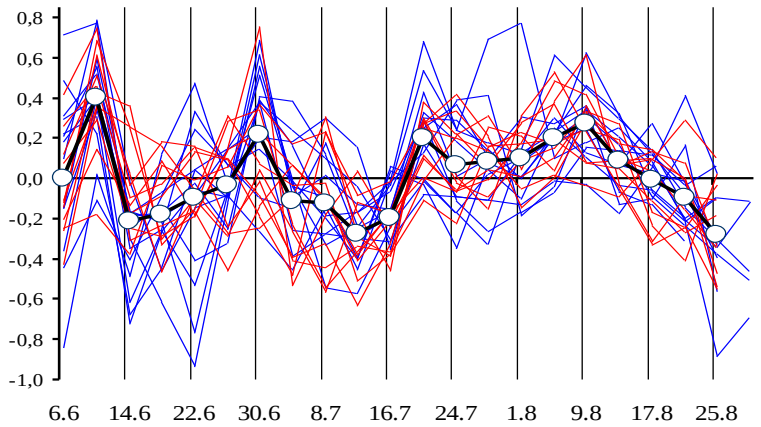


Рис. 1. Динамика отклонений суточного прироста от линейных трендов. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

Периодичности вычисленных гармонических колебаний были поставлены в соответствие эмпирические биоритмы нарастания побегов.

1) Сезонные (аннуальные) биоритмы с периодом 96 сут выявлены на 15 побегах. Представляют собой нелинейные (точнее криволинейные) компоненты сезонности суточного прироста побегов. На побегах клона *vi* 40 в середине лета (04.07–09.08) выявлены положительные отклонения суточного прироста от линейных трендов, а на побегах клона *vi* 43 – соответствующие отрицательные отклонения.

2) Субсезонные (субаннуальные) биоритмы с периодом 64–40 сут не выявлены только на одном побеге. Графики гармоник с периодом колебаний 64-40 сут показаны на рисунке 2 (графики клона *vi* 40 даны синим цветом, клона *vi* 43 – красным; нетипичные графики показаны маркером +; среднее колебание показано маркером ●; средняя фактическая траектория $dL(\vartheta)_{av}$ – маркером ○).

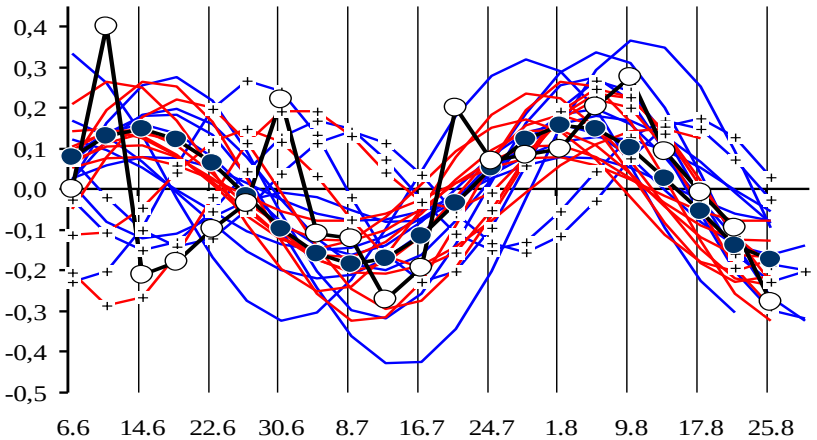


Рис. 2. Гармонические компоненты сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов с периодом 64-40 сут. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

Большинство графиков указанных гармоник (18 побегов из 23) образует единый массив, для которого было вычислено среднее колебание. Для графиков с нетипичной топологией (сильным смещением по фазе относительно среднего гармонического колебания) фактор клона не выявлен. Типичные субсезонные (субаннуальные) биоритмы определяют существование двух максимумов *dL* (раннелетнего и позднелетнего), разделенных среднелетним минимумом.

3) Многодневные (инфрадианные) биоритмы с периодом колебаний 24–19 сут выявлены на 18 побегах из 24. Графики гармоник с периодом колебаний 24 сут показаны на рисунке 3 (типичные графики даны одним цветом, нетипичные графики клона *vi* 43 даны красным цветом и маркером +; среднее гармоническое колебание показано маркером ●, средняя фактическая траектория $dL(\vartheta)_{av}$ – маркером ○). Графики гармоник с периодом колебаний 19 сут показаны на рисунке 4 (типичные графики даны одним цветом, нетипичные графики клона *vi* 40 даны синим цветом, клона *vi* 43 – красным, все нетипичные графики выделены маркером +, среднее гармоническое колебание показано

маркером ●, средняя фактическая траектория $dL(9)_{av}$ – маркером ○). Графики результирующих колебаний (сумм указанных гармоник) показаны на рисунке 5 (пояснения в легенде).

Гармоники с периодом 24 сут синхронизированы между собой на 11 побегах клона *vi* 40 и 3 побегах клона *vi* 43. Указанными гармониками аппроксимируется пик *dL* 30.06 и провал *dL* 12.07. Гармоники с периодом 19 сут синхронизированы между собой на 12 побегах клона *vi* 40 и на 5 побегах клона *vi* 43. Указанными гармониками аппроксимируется все пики *dL* 30.06 и провал 12.07. Суммы гармоник с периодами 24 и 19 сут образуют результирующий почти гармонический ряд с почти постоянным периодом ≈20 сут. Полученным результирующим рядом с высокой точностью аппроксимируются даты всех фактических пиков и провалов *dL*. В интервале с 18.06 по 24.07 результирующими рядами аппроксимируются также абсолютные значения *dL*.

4) Многодневные (инфрадианные) биоритмы с периодом колебаний 10–16 сут выявлены на всех 24 побегах. На рисунке 6 показаны результирующие колебания, полученные для каждого побега путем сложения гармоник с периодом 10–16 сут, а также среднее колебание, полученное для всех побегов (графики клона *vi* 40 даны синим цветом, клона *vi* 43 – красным; среднее гармоническое колебание показано маркером ●, средняя фактическая траектория $dL(9)_{av}$ – маркером ○).

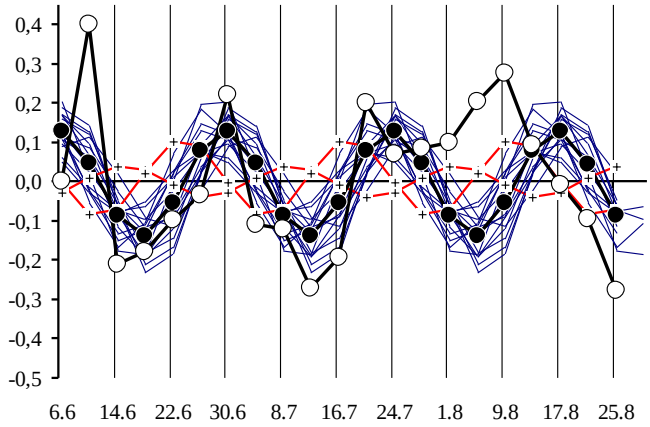


Рис. 3. Гармонические компоненты сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов с периодом 24 сут. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

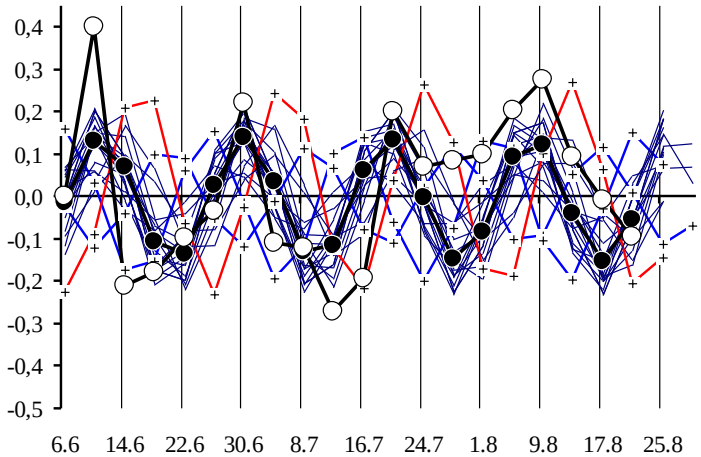


Рис. 4. Гармонические компоненты сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов с периодом 19 сут. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

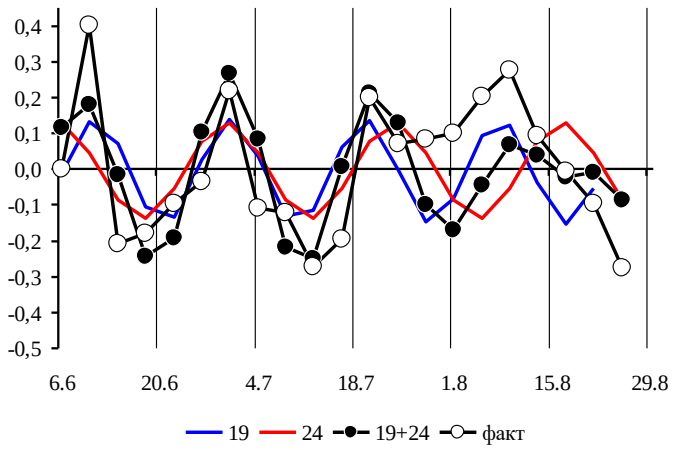


Рис. 5. Ангармонические компоненты сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов с результирующим периодом 20 сут. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

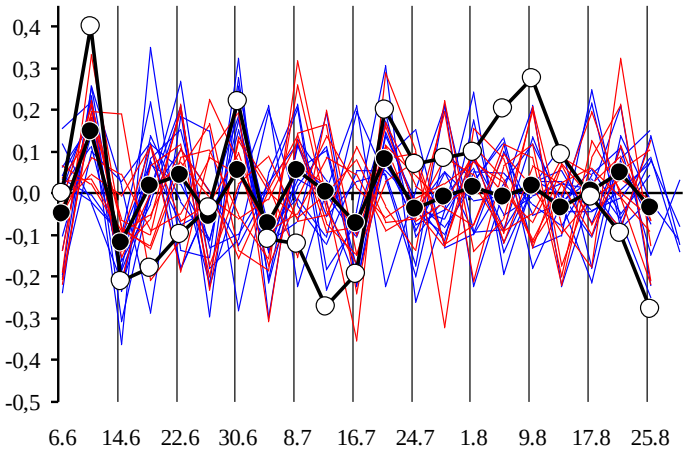


Рис. 6. Ангармонические компоненты сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов с переменным периодом 8–12 сут. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

Результирующие колебания, полученные путем сложения рассматриваемых короткопериодических гармоник, а также среднее результирующее колебание представляют собой ангармонические ряды с переменными периодами и переменными амплитудами. Для среднего колебания, обусловленного взаимодействием гармоник с периодом 10–16 сут, продолжительность периода составляет 8–12 сут. На момент 10.06 рассматриваемые гармоники синхронизированы между собой на всех побегах (положительно синфазированы). Это объясняет усиление пика *dL* 10.06. На значительных промежутках вегетационного периода (18.06–22.06, 08.07–12.07 и после 24.07), среднее результирующее колебание близко к нулю: это означает, что на разных побегах короткопериодические гармоники могут как усиливать, так и ослаблять действие длиннопериодических гармоник.

Вклад описанных биоритмов в сезонную динамику отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов показан на рисунке 7. В легенде показаны средний ряд колебаний с периодом 96 сут, средний ряд колебаний с периодом 40–64 сут, результирующая сумма гармоник с периодом 24 и 19 сут, средний ряд результирующих колебаний с периодом 10–16 сут. Сумма перечисленных рядов показана маркером ●, средняя фактическая траектория $dL(\vartheta)_{av}$ – маркером ○.

В условиях данного эксперимента – генетически выровненный одновозрастный материал, единая технология создания модельной популяции черенковыми саженцами, однородные эдафо-гидрологические условия.Установлены следующие закономерности сезонной динамики развития побегов в двух клонах *S. viminalis*.

Однолетние черенковые саженцы сформировали диморфные двухярусные корневые системы. Верхний ярус образован ранними тонкими (эфемерными) корнями, которые, вероятно, образуются из преформированных корневых зачатков. Очевидно, корни верхнего яруса обеспечивают водоснабжение черенковых саженцев в весенне-летний период, когда верхние хорошо аэрируемые слои почвы

достаточно увлажены за счет талых вод и весенних осадков на фоне невысоких температур воздуха. Нижний ярус образован поздними толстыми корнями, которые служат основой скелетных корней, формирующих многолетние корневые системы. Вероятно, эти корни образуются *de novo* через каллус на нижних срезах черенков. Очевидно, корни нижнего яруса обеспечивают водоснабжение черенковых саженцев в летние месяцы при иссушении верхних слоев почв, но сохранении воды в глубоких слоях. Однако нехватка кислорода вследствие избыточного влагосодержания может создавать субанаэробные условия для развития глубоких корней и тем самым ограничивать их рост. Можно предположить, что такой механизм формирования диморфных корневых систем обеспечивает устойчивость однолетних черенковых саженцев *S. viminalis* к сезонным изменениям водно-воздушного режима почвы на разной глубине. Данная гипотеза не противоречит результатам, полученным другими авторами [28; 37].

Средняя фактическая траектория $dL(\vartheta)_{av}$ с высокой точностью аппроксимируется суммой всех вышерассмотренных рядов гармонических колебаний и производных от них рядов.

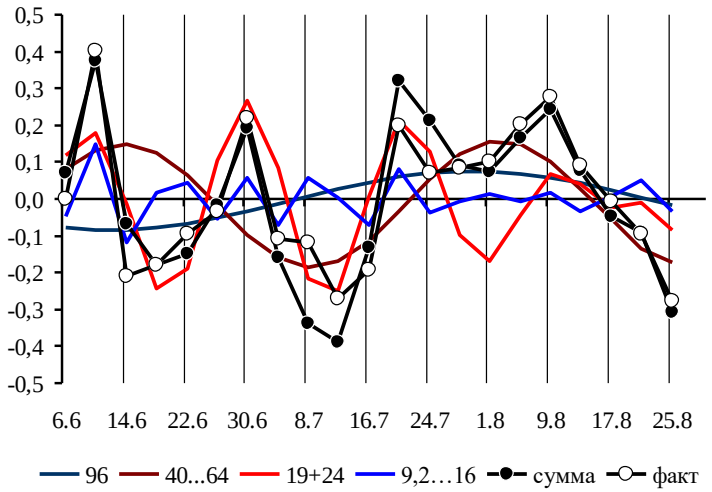


Рис. 7. Гармоническая структура сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов. По оси абсцисс – даты, по оси ординат – отклонения суточного прироста побегов от сезонных трендов, см/сут

Обсуждение. Сезонная динамика суточного прироста побегов (см/сут) описывается двумя типами временны̀х рядов: $\Delta L(\vartheta)$ и $\Delta dL(t)$. Аргумент ϑ привязывает значения к фактическим календарным датам, аргумент t – к субъективно выбранным порядковым дням вегетационного периода. Для проведения расчетов удобно использовать не саму дату ϑ, а ее порядковый номер t.

В условиях данного эксперимента максимальный суточный прирост побегов выявлен в первой половине июня (абсолютный максимум – 10.06). С этого момента сезонная изменчивость суточного прироста характеризуется отрицательной динамикой, которая аппроксимируется линейными трендами. Топология графиков линейных трендов (смещение по оси ординат) определяется средними значениями суточного прироста; углы наклона графиков определяются скоростями уменьшения суточного прироста. Надежность линейной аппроксимации – от очень низкой до очень высокой – определяется углами наклона графиков линейных трендов и размахом изменчивости dL – отклонений фактических значений суточного прироста от этих трендов.

Сезонная динамика отклонений фактических значений суточного прироста от линейных трендов характеризуется отчетливо выраженной ритмичностью. Ритмичность динамики указанных отклонений с высокой надежностью аппроксимируется суммами гармоник, рассчитанных для порядковых дней вегетационного периода t. Вычисленные ряды $dL(t)$ автоматически преобразуются в ряды $dL(\vartheta)$, позволяющие сравнить фактическую динамику с ее вычисленными компонентами.

Вычисленные гармонические колебания dL отражают существование четырех уровней биоритмов, определяющих ритмичность суточного прироста побегов. Аннуальные (сезонные) и субаннуальные (субсезонные) биоритмы с периодом колебаний свыше 40 сут определяют общую картину сезонной динамики dL. Наибольший вклад в ритмичность dL вносят инфрадианные (многодневные) биоритмы с периодом колебаний 19–24 сут (результирующий период составляет ≈20 сут). Инфрадианные биоритмы с периодом колебаний 10–16 сут оказывают влияние на отдельные участки траекторий сезонной динамики dL.

Выявленная ритмичность сезонной динамики суточного прироста побегов характеризуется высокой степенью синхронизации инфрадианных биоритмов (особенно синфазным усилением суточного прироста 10.06, 30.06 и 20.06) на всех исследованных побегах. Вероятно, на все побеги действует мощный импульсный синхронизатор биоритмов неизвестной природы. Не исключено, что в качестве внешнего синхронизатора выступает сумма накопленных температур.

Влияние фактора клона на структуру сезонной динамики суточного прироста побегов не установлено, т. е. выявленная изменчивость этой динамики обусловлена внутриклоновыми различиями. Можно предположить, что эти различия обусловлены онтогенетической гетерогенностью вегетативных почек, которая определяется множеством факторов [9]. Для верификации этой гипотезы нами разработана схема популяционно-клонового эксперимента по сравнению морфогенеза побегов *S. viminalis* на одновозрастных саженцах, выращенных из черенков, заготовленных из разных частей маточных побегов.

Выводы: 1. Максимальный суточный прирост побегов *S. viminalis* выявлен в начале лета, приблизительно через месяц после начала их активного роста на однолетних черенковых саженцах. В течение последующих летних месяцев наблюдалась отрицательная динамика суточного прироста, которая более или менее надежно аппроксимируется линейными трендами.

2. Динамика отклонений суточного прироста побегов от линейных сезонных трендов носит нелинейно-осциллирующий характер, который определяется биоритмами нескольких уровней. Выявленные уровни биоритмов с высокой надежностью аппроксимируются суммами гармонических колебаний с периодами от 10 до 96 сут.

3. Аннуальные (сезонные) биоритмы суточного прироста представляют собой долговременные колебания с периодом порядка 96 сут, что сравнимо с продолжительностью активного роста. Субаннуальные (субсезонные) биоритмы суточного прироста представляют собой долговременные колебания с периодами примерно в 1,5–2 раза меньше (40–64 сут). Субаннуальные биоритмы характеризуются двумя максимумами (ранне- и позднелетним), разделенными среднелетним минимумом.

4. Инфрадианные (многодневные) биоритмы включают две группы колебаний. Первая группа представлена незатухающими гармоническими колебаниями с периодом 19–24 сут. Результирующий ряд представляет собой почти гармоническое колебание с периодом ≈20 сут, что соответствует фактической периодичности динамики суточного прироста. Вторая группа представлена суммами гармонических колебаний с периодом 10–16 сут. Результирующий ряд представляет собой ангармоническое колебание с переменным периодом 8–12 сут. Инфрадианные биоритмы синхронизированы между собой (как в пределах каждой группы, так и между группами), начиная от даты максимального прироста побегов (10.06).

5. Межклоновые различия (фактор клона) в структуре сезонной динамики суточного прироста побегов не установлены. Выявленная изменчивость этой динамики обусловлена внутриклоновыми различиями. Возможной причиной этих различий является онтогенетическая гетерогенность вегетативных почек, из которых развивались исследуемые побеги.

6. Выявленные закономерности сезонной динамики суточного прироста побегов рекомендуется учитывать при планировании агролесотехнических мероприятий по уходу за культурами *S. viminalis*.

Литература

1. Анциферов Г.И. Ива. М.: Лесная промышленность, 1984. 101 с.

2. Афонин А.А. Хронобиологические аспекты оптимизации пестицидной нагрузки в насаждениях ивы корзиночной (Salix viminalis L.) интенсивного типа // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2019. №2. С. 43–50. https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/06

3. Афонин А.А. Сезонная динамика нарастания побегов ивы корзиночной (Salix viminalis) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2019. №4 (28). С. 26-34. https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-4-3

4. Афонин А.А. Поливариантность развития побегов Salix viminalis на фоне избыточного атмосферного увлажнения // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. №4 (32). С.44-53. https://doi.org/10.21685/2307-9150-2020-4-5

5. Васильев С.Н. Шевалдин В.Т. Гармонический анализ: учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. 80 с.

6. Гомилевский В.И. Культура ивы и корзиночное производство. СПб.: Книгоизд-во П.П. Сойкина, 1907. 41 с.

7. Ежов С.Н. Основные концепции биоритмологии // Вестник ТГЭУ. 2008. №2. С.104–121.

8. Керн Э. Э. Ива, ее значение, разведение и употребление. 4-е изд., вновь перераб. Петроград: Тип. Мин-ва Путей Сообщения, 1915. 134 с.

9. Клименко З.К., Зыкова В.К. Биологические особенности культивирования садовых роз для вертикального озеленения на Южном берегу Крыма // Бюллетень Никитского ботанического сада. 2018. Вып. 126. С. 31–36. https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.126.2018.04

10. Лакин Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

11. Berlin S., Trybush S.O., Fogelqvist J., … Hanley S.J. Genetic diversity, population structure and phenotypic variation in European *Salix viminalis* L. (Salicaceae) // Tree Genetics & Genomes. 2014. Vol. 10. №6. P. 1595-1610. https://doi.org/10.1007/s11295-014-0782-5

12. Dieterich B., Martin P. Influence of planting depth and orientation on sprouting of willow cuttings // Aspects of Applied Biology. 2008. Vol. 90. P. 233-238.

13. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting length, orientation and planting depth on early willow shoot establishment // BioEnergy Research. 2015. Vol. 8. P. 796–806. https://doi.org/10.1007/s12155-014-9560-3

14. Fogelqvist J., Verkhozina A.V., Katyshev A.I. … Berlin S. Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows // BMC Evolutionary Biology. 2015. Vol. 15. №1. A.n. 193. https://doi.org/10.1186/s12862-015-0461-7

15. Fuchylo Ya.D., Zelinskyi B.V. Features of the growth of domestic varieties of *Salix viminalis* in the energy plantations on peat bog soils of Kyiv Polissia // Plant varieties studying and protection. 2019. Vol. 15. №4. P. 410-416. (in Ukrainian). https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.4.2019.188661

16. Ghelardini L., Berlin S., Weih M., … Rönnberg-Wästljung A.C. Genetic architecture of spring and autumn phenology in Salix // BMC Plant Biology. 2014. Vol.14. №1. A.n.31. https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-31

17. Hammer D., Kayser A., Keller C. Phytoextraction of Cd and Zn with Salix viminalis in field trials // Soil Use & Management. 2003. Vol.19. №3. P. 187–192.

18. Hoeber S., Arranz C., Nordh N.E., … Weih M. Genotype identity has a more important influence than genotype diversity on shoot biomass productivity in willow short rotation coppices // GCB Bioenergy. 2018. V.10. P. 534-547. https://doi.org/10.1111/gcbb.12521

19. Ilnicka A., Roszek K., Olejniczak A., Komoszynski M., Lukaszewicz J.P. Biologically active constituents from Salix viminalis bio-oil and their protective activity against hydrogen peroxide-induced oxidative stress in chinese hamster ovary cells // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2014. Vol. 174. №6. P. 2153–2161. https://doi.org/10.1007/s12010-014-1171-0 .

20. Jama A., Nowak W. Willow (*Salix viminalis* L.) in purifying sewage sludge treated soils // Polish Journal of Agronomy. 2012. Vol. 9. P. 3–6.

21. Kuzovkina Y., Volk T. The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: Co-ordination of structure, function and autecology // Ecological Engineering. 2009. Vol. 35. №8. P. 1178–1189. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.010

22. Lloyd D. Oscillations, Synchrony and Deterministic Chaos. In: Progress in Botany, Lüttge U. et al. (eds). 2009. Vol. 70, P. 69–92. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68421-3_4

23. Lüttge U., Hertel B. Diurnal and annual rhythms in trees // Trees. 2009. Vol. 23. A.n.683. https://doi.org/10.1007/s00468-009-0324-1

24. McIvor I., Desrochers V. Tree willow root growth in sediments varying in texture // Forests. 2019. Vol. 10. A.n.517. https://doi.org/10.3390/f10060517

25. Mikhalevskaya O.B. Growth rhythms at different stages of shoot morphogenesis in woody plants // Russian Journal of Developmental Biology. 2008. Vol. 39. №2. P. 65-72.

26. Mleczek M., Rutkowski P., Rissmann I., … Stachowiak A. Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis* // Biomass Bioenergy. 2010. Vol. 34. №9. P. 1410–1418. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.04.012

27. Németh A.V., Dudits D., Molnár-Láng M., Linc G. Molecular cytogenetic characterisation of *Salix viminalis* L. using repetitive DNA sequences // Journal of Applied Genetics. 2013. Vol. 54. P. 265-269. https://doi.org/10.1007/s13353-013-0153-1

28. Pezeshki S.R., Anderson P.H., Shields F.D. Effects of soil moisture regimes on growth and survival of black willow (*Salix nigra*) posts (cuttings) // Wetlands. 1998. Vol. 8. P. 460–470. https://doi.org/10.1007/BF03161538

29. Schaff S., Pezeshki S., Shields F. Effects of soil conditions on survival and growth of black willow cuttings // Environmental Management. 2003. Vol. 31. P. 748–763. https://doi.org/10.1007/s00267-002-2909-y

30. Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries (Translated by N. Kadis, 1999) // Joensuu University, Finland. 1999.

31. Stolarski M.J., Niksa D., Krzyżaniak M., Tworkowski J., Szczukowski S. Willow productivity from small- and large-scale experimental plantations in Poland from 2000 to 2017 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol. 101. P. 461-475. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.034

33. Sulima P., Przyborowski J.A., Kuszewska A., … Irzykowski W. Identification of Quantitative Trait Loci Conditioning the Main Biomass Yield Components and Resistance to *Melampsora* spp. in *Salix viminalis* × *Salix schwerinii* Hybrids // International Journal of Molecular Sciences. 2017. Vol. 18. №3. A.n.677. https://doi.org/10.3390/ijms18030677

33. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. Vol. 181. №1. P. 1–20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

34. Vigl F., Rewald B. Size matters? – The diverging influence of cutting length on growth and allometry of two Salicaceae clones // Biomass and Bioenergy. 2014. Vol. 60. P. 130–136. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.020

35. Weih M., Glynn C., Baum C. Willow short-rotation coppice as model system for exploring ecological theory on biodiversity–ecosystem function // Diversity. 2019. Vol. 11. A.n.125. https://doi.org/10.3390/d11080125

36. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of cutting phenology (non-dormant versus dormant) on early growth performance of three willow clones grown under different weed treatments and planting dates // BioEnergy Research. 2017. Vol. 10. P. 1094–1104. https://doi.org/10.1007/s12155-017-9871-2

37. Zhu Y., Wang G., Li R. Seasonal Dynamics of Water Use Strategy of Two *Salix* Shrubs in Alpine Sandy Land, Tibetan Plateau // PLoS ONE. 2016. Vol. 11. №5. e0156586. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156586

References

1. Anciferov, G.I. (1984). Willow. Moscow, Lesnaya promyshlennost'. 101. (in Russ.).

2. Afonin, A.A. (2019). Chronobiological aspects of pesticide load optimization in *Salix viminalis* L. plantings of intensive type. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2, 43-50. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/06

3. Afonin, A.A. (2019). Seasonal dynamics of basket willow shoots growth (*Salix viminalis*). *University proceedings. Volga region. Natural sciences*, 4, 28, 26-34. (in Russ.). https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-4-3

4. Afonin, A.A. (2020). Polyvariance of *Salix viminalis* shoots development against the background of excessive atmospheric moisture. *University proceedings. Volga region. Natural sciences*, 4, 28, 44-53 (in Russ.). https://doi.org/10.21685/2307-9150-2020-4-5

5. Vasil'ev, S.N. & Shevaldin, V.T. (2014). Harmonic analysis: textbook. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta. 80. (in Russ.).

6. Gomilevskij, V.I. (1907). The culture of willow and basket manufacturing. St. Petersburg, Knigoizd-vo P.P. Sojkina. 41. (in Russ.).

7. Ezhov, S.N. (2008). Basic concepts of biorhythmology. *Vestnik TGEU*, 2, 104–121. (in Russ.).

8. Kern, E.E. (1915). Willow, its meaning, breeding and consumption. Petrograd. (in Russ.).

9. Klimenko, Z.K., & Zykova, V.K. (2018). Biological peculiarities of garden rose's cultivation for vertical gardening on the South coast of the Crimea. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*, 126, 31–36. (in Russ.). https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.126.2018.04

10. Lakin, G.F. (1990). Biometry. Uchebnoe posobie dlya 21ret. spec. vuzov. Moscow. (in Russ.).

11. Berlin, S., Trybush, S.O., Fogelqvist, J., …& Hanley, S.J. (2014). Genetic diversity, population structure and phenotypic variation in European *Salix viminalis* L. (Salicaceae). *Tree Genetics & Genomes*, 10, 6, 1595-1610. https://doi.org/10.1007/s11295-014-0782-5

12. Dieterich, B., & Martin, P. (2008). Influence of planting depth and orientation on sprouting of willow cuttings. *Aspects of Applied Biology*, 90, 233-238.

13. Edelfeldt, S., Lundkvist, A., Forkman, J., & Verwijst, T. (2015). Effects of cutting length, orientation and planting depth on early willow shoot establishment. *BioEnergy Research*, 8, 796–806. https://doi.org/10.1007/s12155-014-9560-3

14. Fogelqvist, J., Verkhozina, A.V., Katyshev, A.I. … & Berlin, S. (2015). Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows. *BMC Evolutionary Biology*, *15*, 1, 193. https://doi.org/10.1186/s12862-015-0461-7

15. Fuchylo, Ya.D., & Zelinskyi, B.V. (2019). Features of the growth of domestic varieties of *Salix viminalis* in the energy plantations on peat bog soils of Kyiv Polissia. *Plant varieties studying and protection*, *15*, 4, 410-416. (in Ukrainian). https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.4.2019.188661

16. Ghelardini, L., Berlin, S., Weih, M., … & Rönnberg-Wästljung, A.C. (2014). Genetic architecture of spring and autumn phenology in *Salix*. *BMC Plant Biology*, *14*, 1, 31. https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-31

17. Hammer, D., Kayser, A., & Keller, C. (2003). Phytoextraction of Cd and Zn with *Salix viminalis* in field trials. *Soil Use & Management*, 19, 3, P. 187–192.

18. Hoeber, S., Arranz, C., Nordh, N.E., … & Weih M. (2018). Genotype identity has a more important influence than genotype diversity on shoot biomass productivity in willow short rotation coppices. *GCB Bioenergy*, *10*, 534-547. https://doi.org/10.1111/gcbb.12521

19. Ilnicka, A., Roszek, K., Olejniczak, A., Komoszynski, M., & Lukaszewicz, J.P. (2014). Biologically active constituents from *Salix viminalis* bio-oil and their protective activity against hydrogen peroxide-induced oxidative stress in Chinese hamster ovary cells. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *174*, 6, 2153–2161. https://doi.org/10.1007/s12010-014-1171-0

20. Jama, A., & Nowak, W. (2012). Willow (*Salix viminalis* L.) in purifying sewage sludge treated soils. *Polish Journal of Agronomy*, 9, 3–6.

21. Kuzovkina, Y., Volk, T. (2009). The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: Co-ordination of structure, function and autecology. *Ecological Engineering*, 35, 8, 1178–1189. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.010

22. Lloyd, D. (2009). Oscillations, Synchrony and Deterministic Chaos. In: *Progress in Botany, Lüttge U. et al*. (eds). 70, 69–92. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68421-3_4

23. Lüttge, U., & Hertel, B. (2009). Diurnal and annual rhythms in trees. *Trees*, 23, 683. https://doi.org/10.1007/s00468-009-0324-1

24. McIvor, I. & Desrochers, V. (2019). Tree willow root growth in sediments varying in texture. *Forests*, 10, 517. https://doi.org/10.3390/f10060517

25. Mikhalevskaya, O.B. (2008). Growth rhythms at different stages of shoot morphogenesis in woody plants. *Russian Journal of Developmental Biology*, 39, 2, 65-72.

26. Mleczek, M., Rutkowski, P., Rissmann, I., … & Stachowiak, A. (2010). Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis*. *Biomass Bioenergy*, *34*, 9, 1410–1418. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.04.012

27. Németh, A.V., Dudits, D., Molnár-Láng, M., & Linc, G. (2013). Molecular cytogenetic characterisation of *Salix viminalis* L. using repetitive DNA sequences. *Journal of Applied Genetics*, 54, 265-269. https://doi.org/10.1007/s13353-013-0153-1

28. Pezeshki, S.R., Anderson, P.H., & Shields, F.D. (1998). Effects of soil moisture regimes on growth and survival of black willow (*Salix nigra*) posts (cuttings). *Wetlands*, 18, 460–470. https://doi.org/10.1007/BF03161538

29. Schaff, S., Pezeshki, S., & Shields, F. (2003). Effects of soil conditions on survival and growth of black willow cuttings. *Environmental Management*, 31, 748–763. https://doi.org/10.1007/s00267-002-2909-y

30. Skvortsov, A. K. (1999). Willows of Russia and adjacent countries (Translated by N. Kadis, 1999). *Joensuu University, Finland*.

31. Stolarski, M.J., Niksa, D., Krzyżaniak, M., Tworkowski, J., & Szczukowski, S. (2019). Willow productivity from small- and large-scale experimental plantations in Poland from 2000 to 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *101*, 461-475. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.034

32. Sulima, P., Przyborowski, J.A., Kuszewska, A., … & Irzykowski, W. (2017). Identification of Quantitative Trait Loci Conditioning the Main Biomass Yield Components and Resistance to *Melampsora* spp. in *Salix viminalis* × *Salix schwerinii* Hybrids. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 3, 677. https://doi.org/10.3390/ijms18030677

33. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV (2016). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1, 1–20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

34. Vigl, F., & Rewald, B. (2014). Size matters? – The diverging influence of cutting length on growth and allometry of two Salicaceae clones. *Biomass and Bioenergy*, 60, 130–136. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.020

35. Weih, M., Glynn, C., & Baum, C. (2019). Willow short-rotation coppice as model system for exploring ecological theory on biodiversity–ecosystem function. *Diversity*, 11, 125. https://doi.org/10.3390/d11080125

36. Welc, M., Lundkvist, A., & Verwijst, T. (2017). Effects of cutting phenology (non-dormant versus dormant) on early growth performance of three willow clones grown under different weed treatments and planting dates. *BioEnergy Research*, 10, 1094–1104. https://doi.org/10.1007/s12155-017-9871-2

37. Zhu, Y., Wang, G., & Li, R. (2016). Seasonal Dynamics of Water Use Strategy of Two *Salix* Shrubs in Alpine Sandy Land, Tibetan Plateau. *PLoS ONE*, 11, 5, e0156586. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156586

Афонин А.А. Инфрадианные ритмы суточного прироста побегов в клонах *Salix viminalis* (Salicaceae) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 12–22. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/02

Afonin, A.A. (2021). Infradian Rhythms of Daily Shoot Increment in *Salix viminalis* (Salicaceae) Clones. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 12–22. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/02

дата поступления: 25.01.2021 дата принятия: 03.03.2021

УДК 582.521.11:57.017(477.75)
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/03

Максимов А.П., Трикоз Н.Н., Головнев И.И., Ковалев М.С.

БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТРОДУКЦИИ БРАХЕИ ВООРУЖЕННОЙ (*BRAHEA ARMATA* S. WATSON) НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Maksimov A.P., Trikoz N.N., Golovnev I.I., Kovalev M.S.

BIOECOLOGICAL FEATURES AND PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF *BRAHEA ARMATA* S. WATSON ON THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Аннотация. Приведена история интродукции брахеи вооруженной (*Brahea armata* S. Watson, 1876) в Никитском ботаническом саду (НБС) и показано распространение этого вида на Южном берегу Крыма (ЮБК). Проведен анализ количественных биометрических показателей прироста и отмирания листьев в среднем за вегетационный период на основе фенологических наблюдений за опытными растениями с учетом существующего агротехнического фона. Выявлены причины и факторы, влияющие на морозостойкость этого вида. Определено влияние различных сочетаний метеорологических параметров на факторы, вызывающие ту или иную степень обмерзания не только в результате действия минимальных отрицательных температур, но и с учетом фактора почвенной и атмосферной влажности. Определены пороговые значения воздействия экстремальных отрицательных температур для брахеи вооруженной на летальном и сублетальном уровнях. Разработаны критерии, которые в дальнейшем позволят предоставить научно обоснованные рекомендации по агротехнике культивирования этого вида в условиях ЮБК и на Черноморском побережье Кавказа (ЧПК). Выявлена угроза заселения представителей семейства Арековые (Arecaceae C.H. Schultz) новыми видами фитофагов и заражения грибными заболеваниями. Даны рекомендации по борьбе с грибными заболеваниями и энтомовредителями.

Ключевые слова: *Brahea armata*; описание; фенология; морозостойкость; культивирование; фитофаги; грибные заболевания; Южный берег Крыма; Черноморское побережье Кавказа.

Сведения об авторах: Максимов Александр Павлович, канд. биол. наук, Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, г. Ялта, Россия, cubric@mail.ru; Трикоз Наталья Николаевна, канд. биол. наук, Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, г. Ялта, Россия; Головнев Игорь Иванович, Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, г. Ялта, Россия; Ковалев Максим Сергеевич, Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, г. Ялта, Россия, komax48@mail.ru

Abstract. The history of the introduction of the Mexican blue palm (*Brahea armata* S. Watson, 1876) in the Nikitsky Botanical Gardens was given and the distribution of this species on the Southern Coast of Crimea was shown. Average quantitative biometric indicators of leaves' growth and death were analyzed for the growing season on the basis of phenological observations of experimental plants, taking into account the existing agronomic background. The influence of various combinations of meteorological parameters on these factors was determined, causing one or another degree of freezing not only as a result of the effect of minimal negative temperatures, but also of the factor of soil and atmospheric moisture. The threshold values of exposure to extreme negative temperatures for *B. armata* at the lethal and sublethal levels were determined. Criteria were developed by which in the future it will be possible to provide scientifically grounded recommendations on the cultivation of this species in the conditions of the SCC and the Black Sea coast of the Caucasus. The threat of settlement of representatives of the Arecaceae family (Arecaceae C.H. Schultz) with new species of phytophages and infection with fungal diseases was revealed. Recommendations for combating fungal diseases and insect pests were given.

Keywords: *Brahea armata*; description; phenology; frost resistance; cultivation; phytophages; fungal diseases; southern coast of Crimea; the Black Sea coast of the Caucasus.

About the authors: Maksimov Alexander Pavlovich, Ph.D., Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia, cubric@mail.ru; Trikoz Natalya Nikolaevna, Ph.D., Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia; Golovnev Igor Ivanovich, Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia; Kovalev Maksim Sergeevich, Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia, komax48@mail.ru

Введение. Использование пальм в декоративном садоводстве Южного берега Крыма (ЮБК) является весьма актуальным. Их высокая декоративность и необычный экзотический облик оказывают неизгладимое эстетическое впечатление на человека и значительно увеличивают ценность зеленых насаждений курортов ЮБК и Черноморского побережья Кавказа (ЧПК). Для наиболее полного

проявления ростовых и адаптационных возможностей пальмы в условиях интродукции необходимо привести в соответствие условия произрастания вида его биологической требовательности. Детальный анализ факторов, влияющих на успешный рост и нормальное развитие в условиях интродукции позволит выявить причины, препятствующие проявлению внутренних возможностей того или иного вида в борьбе с экстремальными факторами среды. Исследования в этом направлении актуальны, имеют научную новизну и практическую ценность регионального значения.

Собранный фактический материал позволил нам выявить причины пониженной зимостойкости брахеи вооруженной *(Brahea armata* S. Watson, 1876*)* и сделать определенные выводы по возможному ее повышению. Анализ климадиаграмм родины и районов ее интродукции помогли увидеть одну из причин, влияющих на зимостойкость пальмы. Сравнительные данные метеопараметров родины и районов интродукции позволили выделить факторы, косвенно влияющие на морозостойкость вида, и показать возможности ограничения их действий в определенный период времени. Следует отметить, что рост и развитие пальм зависит не только от их зимостойкости, но и от агротехники содержания. Многолетние наблюдения велись на объектах ЮБК и в г. Севастополе не только в суровые зимы, но и в период летних засух, когда на неполивных участках можно было фиксировать характерные повреждения, полученные от засух в период вегетации.

Целью настоящей работы являлось следующее: 1. Выявить причины гибели растений брахеи вооруженной на ЮБК путем сравнительного анализа климатических данных родины и районов интродукции и выявить возможности увеличения морозоустойчивости этого вида. 2. Изучить особенности ее роста и развития в условиях ЮБК в сравнении с условиями произрастания на родине и разработать методы и способы по повышению ее морозоустойчивости. 3. Определить видовой состав вредителей и возбудителей заболеваний и дать рекомендации по борьбе с ними.

Объекты и методы исследования. Объектами наших исследований явились коллекционные растения брахеи вооруженной в Нижнем парке арборетума Никитского ботанического сада (НБС) на куртине 107 (пальмарий) и зеленые насаждения ЮБК и Севастополя (Фиолент).

Методы исследования – сравнительно-аналитические с использованием климадиаграмм (по Вальтеру и Литу) [26] и визуальные фенологические наблюдения, проведенные по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение. За период с 1986 по 2016 гг. было проведено обследование зеленых насаждений ЮБК на предмет определения видового состава и состояния интродуцентов, в т. ч. и однодольных древесных растений. Результаты обследования показали, что впервые в НБС была интродуцирована брахея съедобная *(Brahea edulis* H. Wendl. ex S. *Watson),* полученная из Сухуми саженцами в возрасте около 10 лет. А.И. Анисимовой и С.Г. Сааковым отмечено, что к 1938 г. остался только один экземпляр, который достиг общей высоты 2 м при высоте ствола до 1 м. Культивировалась с укрытием на зиму рогожей, но почти ежегодно подмерзала и в конце концов погибла [2, 12]. В середине 90-х гг. прошлого столетия в частном секторе ЮБК, в наиболее теплой его части (Мисхор, Алупка, Симеиз), стали появляться в открытом грунте саженцы брахеи вооруженной, привезенные из-за рубежа. Единичные экземпляры стали появляться даже в г. Севастополе, где абсолютный минимум температур составляет −22° С (рис. 1).

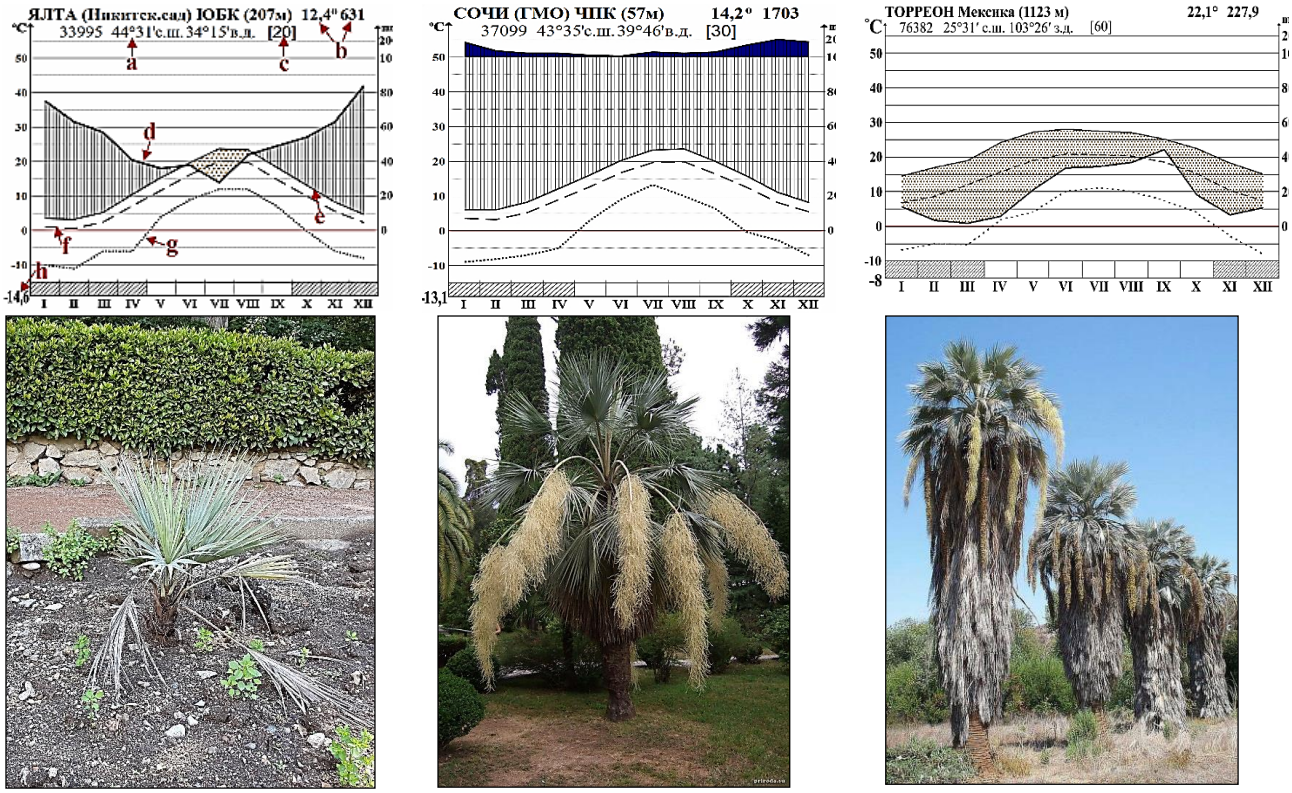
Рис. 1. Брахея вооруженная *(B. armata)* на Фиоленте (Севастополь) в возрасте 12 лет, растущая с укрытием на зиму на участке дендролога И.А. Гаевского. Фото 2016 г.

Впервые она интродуцирована в арборетум НБС весной 2015 года 10-летними саженцами в количестве 3 экземпляров (интродуктор А.П. Максимов). Из трех высаженных на куртине 107 Нижнего парка арборетума НБС один экземпляр не прижился, а два оставшихся хорошо растут с легким укрытием на зиму. В последние два десятилетия брахея вооруженная стала появляться на приусадебных участках зажиточных людей и на объектах гостиничной, пищевой и ресторанной инфраструктуры.

На территории г. Ялты и курортных поселков этот вид был высажен в совершенно разных

микроклиматических условиях, что позволило нам проводить комплексные наблюдения за перезимовкой отмеченных растений практически ежегодно. Использование различных видов пальм, в т. ч. и брахеи вооруженной на территории санатория «Южный» (пос. Форос), которая подвержена постоянному действию восточных и северо-восточных ветров, подтверждает, что для пальм необходимо подбирать наиболее защищенные и теплые участки. В суровую зиму 1984/1985 гг. на ветреных и даже в защищенных от ветров местоположениях все высаженные весной 1983 г. саженцы брахеи вооруженной погибли. В настоящее время, к сожалению, многие объекты курортно-рекреационного назначения на ЮБК повторяют ошибки своих предшественников. Так, например, турецкие строители в 2014 озеленили объект «Мрия», использовав ассортимент пальм, который не может успешно расти на ЮБК без укрытия на зиму. Крупномерные растения, до 15 м высотой высаживались без учета микроклиматических условий территории. Результат этой бездумной деятельности привел к вполне прогнозируемым итогам – все высаженные пальмы даже в совсем не суровую зиму 2014/2015 гг. вымерзли.

Климат родины и районов интродукции брахеи вооруженной представлен в виде климадиаграмм, которые наглядно показывают принципиальную разницу климатов и предоставляют в дальнейшем возможность разработать научно обоснованную агротехнику ее культивирования в тех или иных районах интродукции (рис. 2).



1. 2. 3.

Рис. 2. Климадиаграммы районов интродукции на Черноморском побережье России (1 – Ялта, 2– Сочи) и в Мексике, (3) в естественном ареале, и габитуальные характеристики [24]

Условные обозначения, объясняющие климадиаграммы, следующие: **a** – населенный пункт, высота наблюдений над уровнем моря (в скобках), во второй строке индекс метеопункта и его координаты; **b** – средняя годовая температура (ºС) и среднее годовое количество осадков (мм); **c** – период наблюдения [в квадратных скобках] (первое число – за температурой, второе – за осадками), лет; **d** – кривая среднемесячного количества осадков (толстая линия); **e** – кривая среднемесячной температуры (тонкая линия); **f** – кривая среднего минимума температуры (штриховая линия); **g** – кривая абсолютного минимума температуры (пунктирная линия); **h** – абсолютный минимум температуры за время наблюдений (для пунктов Черноморского побережья – с начала 20-го века), °С. Кривые температур и осадков находятся в определенном соотношении друг к другу, а именно 10 °С соответствуют 20-ти мм осадков. Если кривая осадков находится ниже кривой среднемесячной температуры, поле между ними запунктировано (сухой период). Если кривая осадков выше – поле заштриховано (влажный период). Осадки выше 100 мм представлены в соотношении 1:10 и затемнены.

Соотношением температуры к осадкам отмечаются неблагоприятные времена года, обусловленные недостатком влаги. Неблагоприятные холодные времена года обозначены на абсциссе для каждого месяца заштрихованными полями, если абсолютный минимум ниже 0 °С.

Брахея вооруженная – аборигенная пальма пустыни Сонора (рис. 2). Эта субтропическая пустыня расположена на западе Северной Америки, в Соединенных Штатах Америки и Мексике. Площадь пустыни – 355 тыс. кв. км, она охватывает в США южную часть Аризоны, юго-восточную часть Калифорнии, а в Мексике – большую часть штата Сонора и штатов Северная Байя-Калифорния и Южная Байя-Калифорния по обе стороны от Калифорнийского залива и острова в Калифорнийском заливе. Климат пустыни Сонора сухой и жаркий из-за того, что около 30° с. ш. находится зона высокого атмосферного давления (в Америке эта зона получила название «лошадиные широты»). Во-вторых, к востоку и северо-западу от пустыни проходят горные хребты, задерживающие большую часть осадков, приносимых летними муссонами со стороны как Мексиканского залива, так и Тихого океана. В пустыне континентальный климат субтропического типа, особенно в ее самой северной части. На юге пустыни влияние океана определяет незначительное снижение суточных температур, наличие сильных, почти постоянных ветров, дующих со стороны суши и периодических туманов. Зима длится с ноября по апрель, лето – с мая по октябрь [24].

Климат чрезвычайно суровый; очень высока частота безоблачных дней, следовательно, и уровень солнечной радиации высок; уровень же влажности весьма невелик. Среднегодовая температура в пустыне Сонора колеблется около +23° С. Суточная амплитуда температур достаточно велика; и если днем воздух прогревается до 40° С, то ночью он остывает до 1–2° С. Среднегодовая норма осадков составляет от 50 до 150 мм, хотя выпадают они крайне нерегулярно, и некоторые места могут ждать дождя годами. Выпадение осадков в течение года происходит неравномерно, с сильным колебанием по годам. Существуют два дождевых периода: зимой (с декабря по март) и летом (с июля по сентябрь). В это время могут идти ливневые дожди – они приносятся влажными ветрами со стороны Калифорнийского и Мексиканского заливов. Количество выпавших осадков колеблется от 100 до 250 мм. В начале лета и в начале осени наблюдаются засушливые периоды. В Соноре круглый год положительная температура. В зимний период наблюдаются значительные колебания температуры в направлении с севера на юг, летние температуры изменяются меньше. [1; 15; 23; 24; 26].

Известно, что брахея вооруженная растет только в зоне доступности для корней грунтовых вод и внешних водотоков. На родине ее называют «мексиканская голубая пальма», «синяя глянцевая пальма», «большая синяя гесперская пальма», «голубая веерная пальма», «сладкая браха» и «пальма-бланка» [16; 17]. Достигает 15 м высоты при диаметре ствола до 35, реже 50 см. Голубовато-серые блестящие листья, обычно 1–2 м шириной с длинными, до 1 м, черешками, которые легко отделяются от ствола и обнажают серый, со следами опавших черешков ствол. Длинные, до 5 м, свисающие соцветия выходят за пределы кроны, а иногда достигают своими концами земли. Цветки появляются в феврале-марте, плоды – 18–24 мм в длину, коричневые, от шаровидной до яйцевидной формы, созревают в ноябре [14]. Этот вид является самой распространенной эндемичной пальмой полуострова Калифорния. Растет в каньонах, долинах и на склонах в горных трещинах вместе с кактусами и другими ксерофитами при 300 мм осадков в год или образует однопородные древостои на малоплодородных почвах [15; 18; 19; 23; 28]. Засухоустойчива, довольно теневынослива, переносит на родине в высокогорьях без всяких повреждений кратковременные морозы до -10, -12° С [3; 9]. Культивируется как в сухих, так и во влажных субтропических зонах мира [4; 7; 20-22; 27]. Ю.Н. Карпун отмечает, что, например, в условиях Сочи брахея вооруженная оказалась достаточно морозостойкой, но не дает вызревшие семена, поскольку семена у этой пальмы созревают весной следующего года при условии, что температура воздуха в зимнее время не будет ниже 0° С, тогда как ежегодный минимум для данного региона составляет -3 °С.

Ежегодные наблюдения за перезимовкой 15–20-летних растений брахеи вооруженной в Мисхоре, Алупке, Симеизе показали, что она с легким укрытием на зиму в суровые зимы часто подмерзает, но восстанавливает свою крону за вегетационный период, образуя от 2 до 5 новых листьев. В случаях обычных зим листья, как правило, не подмерзают даже без укрытия и в течение вегетационного периода растения образуют от 3 до 7 новых листьев. Отмечено, что листья, восстановленные после полного обмерзания кроны старых листьев, формируются меньших размеров, чем листья прошлых лет и на более коротких черешках. А новые листья, выросшие из центрального пучка кроны старых листьев, как правило, крупнее предыдущих на 10–12% и развивают более длинный и толстый черешок. Сохранившаяся старая крона обеспечивает фотосинтез и способствует наращиванию величины суммарного роста образующихся новых листьев. Если же крона старых листьев отмерзла, а новые еще не вышли из преннирующей почки, то рост новых листьев начинается

за счет накопленных растением запасных питательных веществ и продолжается до тех пор, пока не покажется пучок новых зеленых листьев, и процесс фотосинтеза не возобновится. Установлено, что недостаточная площадь поверхности фотосинтетического листового аппарата приводит к замедлению роста новых листьев и уменьшению их размера. Кроме того, часть продукции фотосинтеза направляется и на пополнение запасных питательных веществ.

Результаты перезимовки брахеи вооруженной в суровые зимы позволили сделать следующее заключение по культивированию этого вида на ЮБК: «Может быть использована в озеленении как «временная» культура. В суровые зимы возможна гибель всех неукрытых растений. Условия культивирования – в наиболее защищенных от ветров теплых местоположениях с кратковременным укрытием на период возможного действия экстремальных отрицательных температур» [3; 9].

Установлено, что у брахеи вооруженной разница между сублетальными отрицательными температурами -11, -1°С (температуры, при которых отмерзают листья или вся надземная часть, однако растение восстанавливается) и летальными -13, -14°С (при которых растение погибает) составляет 2,0°С. Эта разница, по-видимому, свидетельствует о наиболее рациональном типе приспособительных реакций вида на действие отрицательных температур, выработанном в процессе его эволюции в условиях естественного ареала. Климат с непродолжительной, но ветреной зимой, с резкими колебаниями температуры в значительных пределах и случающимися время от времени сильными похолоданиями в горных районах пустыни Сонора формирует тип приспособительных реакций, направленный на сохранение вида при резких похолоданиях путем выработки «запаса прочности» на случай возможного действия экстремальных отрицательных температур. Виды пальм из подобных районов, в том числе и брахея вооруженная, составляют «пластичную» группу. В условиях интродукции они характеризуются меньшей морозостойкостью, но имея другие приспособительные реакции (повышенную энергию роста, большую морозостойкость образовательных тканей и др.), могут выживать и возобновляться при температурах в среднем на 5° С ниже тех, при которых они теряют крону листьев или всю надземную часть [1; 9; 12; 13; 25]. Этот вид мексиканской пальмы растет иногда вместе с вашингтонией нитеносной (*Washingtonia filifera* (Lind. ex Andr.) H. Wendl. ex A. Bary) [10].

Опыт культивирования брахеи вооруженной в арборетуме НБС и зеленых насаждениях ЮБК показал, что ее морозостойкость можно увеличить агротехническими приемами культивирования. Такими, как содержание этого вида в ксерофитизированном состоянии в осенне-зимне-весенний периоды. Для этого необходимо в середине осени прекращать полив и держать корнеобитаемый слой почвы в зимний период в сухом состоянии. В этом варианте в межклетниках и вакуолях клеток листьев и их черешков будет минимально возможное количество водосодержащих жидкостей, замерзание которых не приведет к разрыву клеточных оболочек. Для выполнения этого необходимо при посадке пальмы создать дренаж для отвода грунтовых вод и непроницаемое напочвенное покрытие, препятствующее промачиванию почвы дождевыми и снеговыми водами. Определение режимов оптимального увлажнения почвы, при котором достигается наибольшая энергия роста, продуктивность и долговечность растений в период вегетации, позволит в дальнейшем разработать научно обоснованную агротехнику ее выращивания и культивирования [8].

В условиях ЮБК на брахее вооруженной могут питаться около 10 видов фитофагов. Наиболее часто встречаются представители отряда Homoptera семейств Coccoidea и Psevdococcoidea. К ним относятся японская палочковидная щитовка *Lopholeucaspis japonica* Ckll., фиолетовая щитовка *Parlatoria oleae* Colvee, тропическая щитовка *Abgrallaspis cyanophylli* Sign., разрушающая щитовка *Aspidiotus destructor* Sign., австралийский желобчатый червец *Icerya purchasi* Mask, японская восковая ложнощитовка *Ceroplastes japonicus* Green, мягкая ложнощитовка *Coccus hesperidum* L., приморский мучнистый червец *Pseudococcus maritimus* Ehrg. и др. Образуя многослойные колонии, они заселяют ветки и листья, что приводит к их деформации, усыханию отдельных органов или растения в целом. Для борьбы с вредителями в зимний период против зимующих стадий эффективно применение Препарата 30 Плюс ММЭ, а в течение вегетационного периода против личинок-бродяжек при многослойных колониях целесообразно использовать химические средства защиты из группы фосфорорганических соединений, таких, как Фуфанон Нова ВЭ, Алиот КЭ, Алатар КЭ и регулятор роста и развития насекомых Адмирал КЭ.

В связи с бесконтрольным завозом импортного посадочного материала на ЮБК в 2015 г. на трахикарпусе Форчуна *(Trachycarpus fortunei* (Hook.) H.Wendl.*)* и финике канарском *(Phoenix canariensis* Chab.*)* были выявлены повреждения и имаго нового инвазивного вида – красного пальмового долгоносика *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv., который впервые был выявлен в г. Сочи в 2007 г. Но очаг был уничтожен и повторно в регион попал в 2012–2013 гг. [6; 11], а в июле 2018 г. в

районе Алупки на китайских веерных пальмах были обнаружены гусеницы и экзувии еще одного вредителя пальм – пальмового мотылька *Paysandisia archon* Burmeister (рис. 3).

Рис. 3. Пальмовый мотылек *P. archon*:
1 – гусеница; 2 – повреждения, нанесенные гусеницами. Фото 2019 г

Основными признаками, по которым можно определить видовую принадлежность вредителя, являются: 1. яйцекладки, коконы, экзувии куколок, выступающие из пальмового ствола; 2. наличие склеенных экскрементами опилок на листьях, в пазухах и (или) стволе, на почве приствольного круга; 3. наличие перфорированных листьев; 4. галереи осевых и поперечных отверстий ходов в пределах ствола и черешков листьев; 5. аномальное развитие пазушных листовых почек и, как следствие, деформация и закручивание пальмовых черешков распустившихся листьев [6].

Характер повреждений у обоих видов практически одинаков. Заметным признаком повреждения и гибели является изменение формы кроны, которая приобретает форму купола. Личинки пальмового долгоносика безногие, беловато-кремового цвета, размером около 5 см. Гусеница пальмового мотылька довольно крупная, около 7 см (иногда до 10 см) длиной (рис. 3). Оба вида питаются внутри стволов, повреждая точку роста, выедая сердцевину, они превращают ее в труху. Коконы, в которых развивается личинка долгоносика, и гусеница мотылька сделаны из волокон пальм и обычно расположены ближе к стволу в местах их питания. Поврежденные стволы легко обламываются, и в конечном итоге растение погибает. В связи со скрытым образом жизни вредителей применение химических средств защиты затруднено, поэтому необходимо уделять внимание прежде всего карантинным мероприятиям: использовать здоровый посадочный материал, проводить выбраковки больных и заселенных вредителями растений с последующим их сжиганием, что позволит своевременно сдержать дальнейшее распространение фитофагов. На сегодняшний день оба вида фитофага представляют угрозу для всех видов пальм как на ЮБК, так и на Черноморском побережье Кавказа (ЧПК).

На брахее вооруженной выявлены также и грибные заболевания. Достаточно часто во влажных условиях произрастания на ЮБК и в защищенном грунте встречается гриб *Drechslera palmicola* (Speg.) F. Anderson, Bianchin, S.U. Braun), Класс Dothideomycetes, порядок Pleosporales, семейство Pleosporaceae, который образует на листьях пальмы обширные черные пятна, напоминающие болезнь «парша» [5]. Профилактические мероприятия и меры борьбы с грибными болезнями в зимний и ранневесенний периоды необходимо проводить Бордоской смесью ВРП, а в период вегетации применяются фунгициды лечебного и искореняющего действия (Топаз, КЭ, Топсин М, Строби, ВДГ и др.).

Выводы. 1. Основной причиной потери декоративности и даже гибели брахеи вооруженной является недостаточная ее зимостойкость в условиях ЮБК. Культивирование этого вида на ЮБК возможно только с обязательным кратковременным укрытием пальмы на период возможных экстремальных отрицательных температур. При капитальном укрытии в виде домика из поликарбоната возможно содержание вида в нем весь холодный период года.

2. Морозостойкость брахеи вооруженной можно увеличить агротехническими приемами культивирования, такими, как содержание этого вида в ксерофитизированном состоянии в осеннее-зимне-весенний период. Для этого необходимо в середине осени прекращать полив и держать корнеобитаемый слой почвы в зимний период в сухом состоянии. Для этого при посадке пальмы необходимо создание дренажа для отвода грунтовых вод и непроницаемого покрытия, препятствующего промачиванию корнеобитаемого слоя почвы дождевыми и снеговыми водами.

3. Брахея вооруженная отнесена к «пластичной» группе пальм, которая характеризуется меньшей морозостойкостью, но имея другие приспособительные реакции может выживать и возобновляться при температурах в среднем на 5° С ниже тех, при которых она теряют крону листьев или всю надземную часть. Это позволяет культивировать ее без укрытия в районах с абсолютным минимумом температур до −12° С. Разница между сублетальными и летальными температурами воздуха у нее составляет 2 °С. Брахея вооруженная формирует тип приспособительных реакций, направленный на сохранение вида при резких похолоданиях путем выработки «запаса прочности» на случай возможных экстремальных отрицательных температур.

4. Для защиты от вредителей необходимо проводить регулярные обработки с применением препаратов из группы фосфорорганических соединений и регуляторов роста и развития насекомых. С целью ограничения ввоза и распространения карантинных и инвазионных видов фитофагов необходимо соблюдать карантинные мероприятия, использовать здоровый посадочный материал, проводить выбраковку больных и заселенных вредителями растений с последующим их сжиганием.

5. Против грибных болезней необходимо применять фунгициды лечебного и искореняющего действия.

Литература

1. Алисов Б.П. Климатические области зарубежных стран. М.: Гос. издат. географ. лит., 1950. 350 с.

2. Анисимова А.И. Сем. Palmae – Пальмы // Труды гос. Никитского ботан. сада. 1939. Т.22. Вып. 2. С. 13–32.

3. Важов В.И., Антюфеев В.В., Куликов Г.В., Максимов А.П. Термические особенности зимы 1984/1985 гг. на Южном берегу Крыма и древесные экзоты // Труды Гос. Никитского ботан. сада. 1988. Т. 105. С. 104–116.

4. Гниненко Ю.И., Костюков В.В., Кошелева О.В. Новые инвазивные насекомые в лесах и озеленительных посадках Краснодарского края // Защита и карантин растений. 2011. № 4. С. 49–51.

5. Исиков В.П. Грибы на деревьях и кустарниках Крыма. Систематический каталог. Симферополь: АРИАЛ, 2009. 297 с.

6. Карпун Н.Н., Айба Л.Я., Журавлева Е.Н., Игнатова Е.А., Шинкуба М.Ш. Руководство по определению новых видов вредителей декоративных древесных растений на Черноморском побережье Кавказа. Сочи – Сухум, 2015. С. 18–22.

7. Карпун Н.Н., Игнатова Е.А., Журавлева Е.Н. Новые виды вредителей декоративных древесных растений во влажных субтропиках Краснодарского края // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. Вып. 211. С. 187–203.

8. Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 704 с.

9. Максимов А.П., Важов В.И., Антюфеев В.В. Морозостойкость пальм на Южном берегу Крыма // Труды Гос. Никитского ботан. сада. 1988. Т. 106. С. 63–75.

10. Плугатарь Ю.В., Максимов А.П., Ковалев М.С., Работягов В.Д., Трикоз Н.Н., Хромов А.Ф. Биоэкологические особенности интродукции *Washingtonia filifera* (Lind. ex Andr.) H. Wendl. ex A. Bary на Южном берегу Крыма // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13, №1. С. 88–100. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-88-100

11. Рогова Т.И. Вредители тропических культур и меры борьбы с ними. Ч. II. М., 1976. С. 92–115.

12. Сааков С.Г. Пальмы и их культура в СССР. Москва–Ленинград, 1954. 320 с.

13. Al-Eryan M.A.S., El-Ghariani I.M., Massry A., Agleyo H.A., Mohamed S.A., Ikraem A.A., Ismail S.S. First record of the red palm weevil [Rhynchophorus ferrugineus Oliv. (Coleoptera: Curculionidae)] in Libya // Acta Hort. 2010. Vol. 882. P. 413–418. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.882.46.

14. Bacon C.D., Baker W.J., Simmons M. P. Miocene dispersal drives island radiations in the palm tribe Trachycarpeae (Arecaceae) // Systematic Biology. 2011. Vol. 61, №3. P. 426–442. https://doi.org/10.1093/sysbio/syr123

15. Baillon H.E. Monographie des Palmires. In: Historie des plantes. Paris, 1895. P. 245–404.

16. Baker W.J., Couvreur T.L.P. Global biogeography and diversification of palms sheds light on the evolution of tropical lineages. Historical biogeography // Journal of Biogeography. 2013. Vol. 40, №2. P. 274–285. https://doi.org/10.2307/23354595

17. Barrett C.F., Bacon C.D., Antonelli A., Cano A., Hofmann T. An introduction to plant phylogenomics, with a focus on palms // Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. Vol. 182, №2. P. 234–255. https://doi.org/10.1111/boj.12399

18. Bullock S. H., Heath D. Growth rates and age of native palms in the Baja California desert // Journal of Arid Environments. 2006. Vol. 67, №3. P. 391–402. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.002

19. Dolby G.A., Bennett S.E.K., Lira-Noriega A., Wilder B.T., Munguia-Vega A. Assessing the geological and climatic forcing of biodiversity and evolution surrounding the Gulf of California // Journal of the Southwest. 2015. Vol. 57. P. 391–455. https://doi.org/10.1353/jsw.2015.0005

20. Eiserhardt W.L., Svenning J.C., Kissling W.D., Balslev H. Geographical ecology of the palms (Arecaceae): Determinants of diversity and distributions across spatial scales // Annals of Botany. 2011. Vol. 108, № 8. P. 1391– 1416. https://doi.org/10.1093/aob/mcr146

21. Franco-Vizcaino E., Lopez-Beltran A.C., Salazar-Cesena M. Water relations and community composition in three blue fan palm oases across the Californian-Sonoran biome transition // The Southwestern Naturalist. 2007. Vol. 52, P. 191–200. https://doi.org/10.1894/0038-4909(2007)52[191:WRACCI]2.0.CO;2

22. Garcillan P.P., Gonzalez-Abraham C.E., Ezcurra E. The Cartographers of Life: Two Centuries of Mapping the Natural History of Baja California // Journal of the Southwest. 2010. Vol. 52, №1. P. 1–40. https://doi.org/10.2307/27920207

23. McCurrach J.C. Palms of the world. New York, 1960. 290 p.

24. Turner R.M., Bowers J.E., Burgess T.L. Sonoran Desert Plants: an Ecological Atlas. Tucson: The University of Arizona Press, 1995. P. 115–116.

25. Monteys V. S., Aguilar L. The castniid palm borer, Paysandisia archon (Burmeister, 1880), in Europe: comparative biology, pest status and possible control methods (Lepidoptera: Castniidae) // Nachr entomol Ver Apollo NF. 2005. Vol. 26. №1/2. P. 61-94. https://doi.org/10.13140/2.1.4565.6966

26. Walter H., Lieth H. Klimadiagramm – Weltatlas. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1960. lieferung 2 und 3.

27. Wehncke E.V., López-Medellín X., Ezcurra E. Patterns of Frugivory, Seed Dispersal and Predation of Blue Fan Palms (Brahea armata) in Oases of Northern Baja California // Journal of Arid Environments. 2009. Vol. 73. №9. P. 773–783. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.007

28. Wehncke E.V., López-Medellín X., Ezcurra E. Blue fan palm distribution and seed removal patterns in three desert oases of northern Baja California, Mexico. // Plant Ecology. 2010. Vol. 208, №1, P. 1–20. https://doi.org/10.1007/s11258-009-9682-4

References

1. Alisov, B. P. (1950). *Klimaticheskie oblasti zarubezhnykh stran [Climatic regions of foreign countries]*. Moscow. (in Russ.).

2. Anisimova, A. I. (1939). Palmae family – Palms. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden]*, 22(2), 13–32. (in Russ.).

3. Vazhov, V. I., Antyufeev, V. V., Kulikov, G. V., & Maksimov, A. P. (1988). Thermal features of winter 1984/1985 on the southern coast of Crimea and woody exotic plants. *Trudy Gos. Nikitskogo botan. sada [Proceedings of the State Nikitsky Botanical Garden]*, 105, 104–116. (in Russ.).

4. Gninenko, Yu. I., Kostyukov, V. V., & Kosheleva, O. V. (2011). New invasive insects in forests and landscaping plantations of the Krasnodar Territory. *Zashchita I karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]*, 4, 49–51. (in Russ.).

5. Isikov, V. P. (2009). *Griby na derev'yakh I kustarnikakh Kryma. Sistematicheskii katalog [Mushrooms on trees and shrubs of the Crimea. Systematic catalog]*. Simferopol: (in Russ.).

6. Karpun, N. N., Aiba, L. Ya., Zhuravleva, E. N., Ignatova, E. A., & Shinkuba, M. Sh. (2015). *Rukovodstvo po opredeleniyu novykh vidov vreditelei dekorativnykh drevesnykh rastenii na Chernomorskom poberezh'e Kavkaza [Guidelines for the identification of new pests of ornamental woody plants on the Black Sea coast of the Caucasus]*. Sochi – Sukhum. (in Russ.).

7. Karpun, N. N., Ignatova, E. A., & Zhuravleva, E. N. (2015). Species of pests on ornamental woody plants in humid subtropics new for Krasnodar Kray (Russia). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii*, 211, 187–203. (in Russ.).

8. Kolesnikov, A. I. (1974). *Dekorativnaya dendrologiya [Decorative dendrology]*. Moscow. (in Russ.).

9. Maksimov, A. P., Vazhov, V. I., & Antyufeev, V. V. (1988). Frost resistance of palms on the southern coast of the Crimea. *Trudy Gos. Nikitskogo botan. Sada [Proceedings of the State Nikitsky Botanical Garden]*, 106, 63–75. (in Russ.).

10. Plugatar, Yu. V., Maksimov, A. P., Kovalev, M. S., Rabotyagov, V. D., Trikoz, N. N., & Khromov, A. F. (2018). Biological and environmental peculiarities of introduction of *Washingtonia filifera* (Lind. ex Andr.) H. Wendl. ex Bary at the southern coast of Crimea. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development]*, 13(1), 88–100. (in Russ.). https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-88-100

11. Rogova, T. I. (1976). *Vrediteli tropicheskikh kul'tur I mery bor'by s nimi. Chast' II [Pests of tropical crops and control measures. Part II]*. Moscow. (in Russ.).

12. Saakov, S. G. (1954). *Pal'my I ikh kul'tura v SSSR [Palm trees and their culture in the USSR]*. Moscow – Leningrad. (in Russ.).

13. Al-Eryan, M. A. S., El-Ghariani, I. M., Massry, A., Agleyo, H. A., Mohamed, S. A., Ikraem, A. A., & Ismail, S. S. (2010). First record of the red palm weevil [*Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae)] in Libya. *Acta Horticulture, 882*, 413–418. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.882.46.

14. Bacon, C. D., Baker, W. J., & Simmons, M. P. (2011). Miocene dispersal drives island radiations in the palm tribe *Trachycarpeae* (Arecaceae). *Systematic Biology, 61*, 426– 442. https://doi.org/10.1093/sysbio/syr123

15. Baillon, H. E. (1895). Monographie des Palmires. In: *Historie des plantes* (pp. 245–404). Paris.

16. Baker, W. J., & Couvreur, T. L. P. (2013). Global biogeography and diversification of palms sheds light on the evolution of tropical lineages. Historical biogeography. *Journal of Biogeography, 40*, 274–285. https://doi.org/10.2307/23354595

17. Barrett, C. F., Bacon, C. D., Antonelli, A., Cano, A., & Hofmann, T. (2016). An introduction to plant phylogenomics, with a focus on palms. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *182*, 234-255. https://doi.org/10.1111/boj.12399

18. Bullock, S. H., & Heath, D. (2006). Growth rates and age of native palms in the Baja California desert. *Journal of Arid Environments*, *67*, 391–402. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.002

19. Dolby, G. A., Bennett, S. E. K., Lira-Noriega, A., Wilder, B. T., & Munguia-Vega, A. (2015). Assessing the geological and climatic forcing of biodiversity and evolution surrounding the Gulf of California. *Journal of the Southwest*, *57*, 391–455. https://doi.org/10.1353/jsw.2015.0005

20. Eiserhardt, W. L., Svenning, J. C., Kissling, W. D., & Balslev, H. (2011). Geographical ecology of the palms (Arecaceae): Determinants of diversity and distributions across spatial scales. *Annals of Botany*, *108*(8), 1391–1416. https://doi.org/10.1093/aob/mcr146

21. Franco-Vizcaino, E., Lopez-Beltran, A. C., & Salazar-Cesena, M. (2007). Water relations and community composition in three blue fan palm oases across the Californian – Sonoran biome transition. *The Southwestern Naturalist*, *52*, 191–200. https://doi.org/10.1894/0038-4909(2007)52[191:WRACCI]2.0.CO;2

22. Garcillan, P. P., Gonzalez-Abraham C. E., & Ezcurra E. (2010). The cartographers of life: two centuries of mapping the natural history of Baja California. *Journal of the Southwest*, *52*(1), 1–40. https://doi.org/10.2307/27920207

23. McCurrach, J. C. (1960). *Palms of the world*. New York.

24. Turner, R. M., Bowers, J. E., & Burgess, T. L. (1995). *Sonoran Desert Plants: an Ecological Atlas* (pp. 115–116). Tucson: The University of Arizona Press.

25. Monteys, V. S., & Aguilar, L. (2005). The castniid palm borer, Paysandisia archon (Burmeister, 1880), in Europe: comparative biology, pest status and possible control methods (Lepidoptera: Castniidae). *Nachr entomol Ver Apollo NF*, *26*(1/2), 61-94. https://doi.org/10.13140/2.1.4565.6966

26. Walter, H., & Lieth, H. *Klimadiagramm – Weltatlas*. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. 1960. lieferung 2 und 3.

27. Wehncke, E. V., López-Medellín, X., & Ezcurra, E. (2009). Patterns of Frugivory, Seed Dispersal and Predation of Blue Fan Palms (*Brahea armata*) in Oases of Northern Baja California. *Journal of Arid Environments*, *73*(9), 773–783. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.007

28. Wehncke, E. V., López-Medellín, X., & Ezcurra, E. (2010). Blue fan palm distribution and seed removal patterns in three desert oases of northern Baja California, Mexico. *Plant Ecology*, *208*(1), 1–20. https://doi.org/10.1007/s11258-009-9682-4

Максимов А.П., Трикоз Н.Н., Головнев И.И., Ковалев М.С. Биоэкологические особенности и перспективы интродукции брахеи вооруженной (*Brahea armata* s. Watson) на южном берегу Крыма // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 23-31. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/03

Maksimov, A.P., Trikoz, N.N., Golovnev, I.I. & Kovalev M.S. (2021). Bioecological Features and Prospects for the Introduction of *Brahea armata* s. Watson on the Southern Coast of Crimea. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. (2(54)). 23-31. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/03

дата поступления: 09.11.2020 дата принятия: 12.02.2021

УДК 581.552
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/04

Цибульский В.Р., Арефьев С.П., Новиков В.П., Соловьев И.Г., Говорков Д.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ШЕННОНА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ, ОБРАЗОВАННЫХ ДЕРЕВЬЯМИ-ЭДИФИКАТОРАМИ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Tsibulsky V.R., Arefev S.P., Novikov V.P., Solovyev I.G., Govorkov D.A.

DETERMINATION OF THE SHANNON BIODIVERSITY INDEX OF PLANT COMMUNITIES FORMED BY EDIFICATORY TREES USING THE EXAMPLE OF FORESTS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

Аннотация. В статье представлен один из инструментов эффективного управления лесами – методика оценки биоразнообразия лесов на основе индекса Шеннона или выравненности биомов, образованных доминирующими деревьями-эдификаторами. Рассмотрено понятие и приведена формула определения индекса биоразнообразия Шеннона для сообществ (биомов) в зависимости от вероятностного распределения деревьев-эдификаторов. Индекс биома определяется на основе встречаемости видов, а распределение вероятностей эдификаторов – доминирующими породами: лиственницей, сосной, кедром, елью и березой на территории их сплошного и мозаичного произрастания в таежной и лесотундровой зоне лесхозов севера Западной Сибири. Это позволяет дать предварительную оценку возможных значений индекса биоразнообразия обширной территории, занятой лесом, при помощи космической съемки. Используя описания биомов отмеченных деревьев-эдификаторов, приведенных у Б.Н. Норина, В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной, авторы статьи получили индексы биоразнообразия Шеннона и выравненности для ряда биомов, близких по условиям произрастания к лесной зоне Ямало-Ненецкого автономного округа. Распределение вероятностей деревьев-эдификаторов получено на основе данных по площади произрастания указанных пород на интерактивной карте «Леса России» на 01.01.2018 г. В итоге получена оценка биоразнообразия территории лесов в каждом лесхозе, и приведена карта лесхозов ЯНАО с цифровыми значениями этого индекса.

Ключевые слова: биоразнообразие, лес, сообщества, индекс выравненности.

Информация об авторах: Цибульский Владимир Романович, SPIN-код: 4211-9183, д-р техн. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия; Арефьев Станислав Павлович, д-р биол. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия; Новиков Виктор Петрович, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия; Соловьев Илья Георгевич, SPIN-код: 4340-6350, канд. техн. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия, solovyev@ikz.ru; Говорков Денис Александрович, ORCID: 0000-0002-5430-0231, канд. техн. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия, dagovorkov@mail.ru

Abstract. The article proposes one of the tools for effective forest management – a methodology for assessing forest biodiversity based on the Shannon index or the evenness of biomes formed by dominant edificator trees. The concept is given and the formula for determining the Shannon biodiversity index for communities (biomes) is provided, depending on the probability distribution of edificator trees. Moreover, the biome index is determined on the basis of the occurrence, and the probability distribution of edificators is determined by the dominant species: larch, pine, cedar, spruce and birch on the territory of their continuous and mosaic growth in the taiga and forest-tundra zones of forestry enterprises in the north of Western Siberia. This makes it possible to give a preliminary estimate of the possible values of the biodiversity index of a vast area occupied by forest using satellite observations. Using the descriptions of biomes of the noted edificator trees given by B.N. Norin, V.I. Valutskiy and E.I. Lapshina, the authors of the article obtained indices of the Shannon biodiversity and uniformity for a number of biomes similar in terms of growing conditions to the forest zone of the Yamalo-Nenets Autonomous Area. The probability distribution of edificator trees was obtained on the basis of data on the growing area of these species on the interactive map “Forests of Russia” as of 01.01.2018. As a result, an assessment of the biodiversity of the forest area in each forestry enterprise was obtained and a map of the Yamalo-Nenets Autonomous Area forestry enterprises with the digital values of this index is provided.

Keywords: biodiversity, forest, communities, evenness index.

About the authors: Tsibulsky Vladimir Romanovich; SPIN-code: 4211-9183, Dr. habil., Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia, v-tsib@yandex.ru; Arefiev Stanislav Pavlovich, Dr. habil., Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia; Novikov Viktor Petrovich, Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia; Soloviev Ilya Georgevich, SPIN- code: 4340-6350, Ph.D., Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia, solovyev@ikz.ru; Govorkov Denis, ORCID: 0000-0002-5430-0231, Ph.D., Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia, dagovorkov@mail.ru

Введение. Проблема мониторинга биоразнообразия на обширных труднодоступных территориях Ямало-Ненецкого округа стоит очень остро. Ее решение усложняется недостатком

заинтересованности, а также отсутствием средств для определения всего состава видов и их многообразия. Сильную тревогу вызывает сокращение видов, используемых для жизнеобеспечения коренного и пришлого населения, и видов, уникальных для данной территории. При этом взаимозависимость и состояние биоразнообразия территорий мало исследуется и оценивается, хотя история подобных исследований достаточно богата и продолжительна [1-6; 8; 15; 20-22]. Приведем ряд примеров. Во исполнение конвенции ООН по биоразнообразию был представлен проект о сохранении и поддержании биоразнообразия лесов Европейской части России, и как результат выпущен «Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий» [12]. При разработке использовались космические и компьютерные технологии, привязки к местности и картирования. Атлас в большей степени ориентирован на промышленного лесопользователя и в меньшей – на оценку биоразнообразия. В 1985 г. была разработана карта растительности Западной Сибири с подробным описанием (легендой), по этой карте можно было сделать оценку биоразнообразия, но прошло 35 лет интенсивного освоения нефтегазовых месторождений, открытых на этой территории, и повторной оценки нет [18]. Есть отдельные фрагменты, но не более. Сравнительно недавно был выпущен атлас ЯНАО с обозначенными природоохранными территориями, но без оценки биоразнообразия и его динамики [19].

Целью данной работы является предложение на основе индекса Шеннона сравнительно простого метода оценки биоразнообразия популяций деревьев-эдификаторов, составляющих основу лесов России, в том числе и Западной Сибири. Это позволяет на основе космосъемки практически ежегодно получать косвенную оценку биоразнообразия лесов, включая ассоциации растений и ассоциации животного мира, сопровождающие эти популяции.

Методика. Районы исследований. Известно, что на северной кромке лесной зоны Западной Сибири леса представляют собой мозаичное лиственничное редколесье и таежную часть, состоящую из сосны, ели и редко кедра. На карте Рослесинфорг «Леса России» на 01.01.2018 г обозначена территория лесхозов ЯНАО: Ямальского, Надымского, Таркосалинского, Ноябрьского и Красноселькупского (https://roslesinforg.ru/atlas). Состав и процентное содержание основных видов приведены в таблице 1. Поскольку основной целью настоящей статьи является демонстрация возможных вариантов оценки биоразнообразия сообщества деревьев-эдификаторов и их биома, состав которого достаточно постоянен [20-22], авторы статьи сочли возможным использовать материалы исследований, ранее проведенных в указанных районах или в районах, сопредельных с подобными условиями произрастания. В частности, материалы Норина Б.Н. по лиственничникам в районе Обско-Тазовского полуострова (66°15–66°45′ с. ш. и 72°50–74°20′ в. д.) [7], В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной по соснякам и кедрово-еловым лесам в районе Обь-Иртышского междуречья (долина Большого Салыма) [14]. В указанных работах приведены составы биомов, образованных главными видами деревьев, и их встречаемость.

Таблица 1

Сводная таблица долевого содержания (в %) площадного покрытия основных деревообразующих видов по лесничествам ЯНАО

	Ямальский лесхоз	Надымский лесхоз	Таркосалинский лесхоз	Ноябрьский лесхоз	Красноселькупский лесхоз
Пихта	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0129
Сосна	16,0627	27,2846	31,1262	59,2467	18,9370
Ель	24,8107	16,6357	22,3255	2,4650	6,7589
Лиственница	36,7334	46,4355	18,4928	15,2225	32,1666
Кедр	10,7626	2,1432	17,9137	14,7458	19,6811
Береза	11,5576	7,4825	10,0503	8,2730	21,9945
Осина	0,0324	0,0000	0,0001	0,0470	0,3384
Ива	0,0406	0,0186	0,0914	0,0001	0,1105

У Б.Н. Норина [7] в таблицах 5, 7, 9, 11 приведены ассоциации растений лишайниковых, мохово-лишайниковых, долгомошных и травянокустарниковых лиственничников на четырех ярусах: древесном, кустарниковом, травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом. У В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной [14] в таблице 1 приведены ассоциации растений сосново-багульниково-зеленомошно-сфагновых, сосновых кустарничково-осоково-сфагновых, елово-кедровых плауново-зеленомошных и кедрово-сосновых бруснично-зеленомошных, кроме того, осино-березовыхтравяно-зеленомошных лесов, где береза выступает в роли субдоминанта. Там же приведена встречаемость на тех же уровнях.

Основные понятия и определения. Авторы остановились на индексе биоразнообразия Шеннона как наиболее подходящем для обработки данных по встречаемости растений, приведенных в

литературе. Принято обозначать его H'. Сделаем небольшой обзор и выберем наиболее подходящее определение и формулу для вычисления.

У Э. Мэгарран [10] индекс Шеннона отождествляется с количеством информации. Известно, что количество информации равно разности априорной и апостериорной энтропий, т. е. до геоботанического исследования и после. Для нас это энтропия всего растительного сообщества и энтропия необследованной части. Следовательно, формулу Мэгарана можно применять только при условии, что апостериорная энтропия равна нулю, т. е. территория обследована полностью. Ряд авторов оценивают выравненность распределения, относя индекс Шеннона к максимально возможному его значению H'_m, т. е. индексу при равномерном законе распределения [9; 10; 17], и обозначают ее как E. А.П. Левич [9] предлагает практически тот же подход, но с небольшим отличием – он отмечает, что исходно это формула энтропии, известная со времен Больцмана. У Г.С. Розенберга [16; 17] тот же энтропийный подход к индексу Шеннона. Мы будем придерживаться подхода Мэгарана, так как индекс биоразнообразия – величина положительная, а энтропия – отрицательная, в отличие от количества информации. Кроме того, Левич и Розенберг максимальную энтропию определяют по Хартли, и это тоже количество информации с равновероятными событиями. При условии, что апостериорная энтропия равна нулю, примем традиционную формулу $H = -\sum_i p(i) * \log p(i)$, где p – вероятность каждого вида растительного сообщества биома, i – индекс этого вида.

Принято считать, что при выборке 10^2, индекс Шеннона не превышает значения 3,5. Поскольку сложно определить, насколько велик данный показатель, удобнее использовать индекс выравненности E, представляющий, по сути, нормированный индекс Шеннона, приведенный к максимально возможному значению для данной территории при равномерном законе распределения видов $E = \frac{H'}{H'_m}$.

Таким образом, будем определять индекс выравненности как количество информации, полученное при исследовании или подсчете видов сообщества (биома) в зависимости от вида деревьев-эдификаторов. Причем индекс для биома будем относить к максимально возможному для него при равномерном распределении. Вероятностное распределение присутствия эдификаторов на территории лесхозов будем определять по площади покрытия, которое тоже нормируется к максимально возможной величине энтропии равномерного распределения вероятностей. Другими словами, в начале должна вычисляться энтропия биомов, различных в зависимости от доминирования деревьев-эдификаторов на рассматриваемой территории, затем определяться вероятность того или иного эдификатора для перечисленных лесхозов, только после этого определяется индекс Шеннона, или выравненность E зависимого сообщества от каждого эдификатора. Суммарный индекс для каждого лесхоза определяется как сумма индексов биомов, присущих данной территории.

Предположим, что дерево-эдификатор имеет порядковый индекс j, и он изменяется j = 1, 2, ..., m. Индекс видов в каждом биоме i = 1, 2, …, n. В нашем случае вероятность p(i) зависит от того, какой эдификатор реализуется в данный момент, тогда обозначим ее как $p(i/j)$, и индекс Шеннона биома $H'(i/j)$ определяется как

$$H'(i/j) = -\sum_{ij} p(i/j) * \log p(i/j)$$

Теперь если каждый индекс $H'(i/j)$ биома умножить на вероятность эдификатора p(j) и суммировать по j, то получим индекс Шеннона по лесхозу

$$H'(ij) = -\sum_j p(j) * H(i/j) = -\sum_{ij} p(ij) * \log p(i/j)$$

Таким образом для каждого лесхоза определяется средняя величина индекса Шеннона, учитывающая разное распределение видов эдификаторов и биомов характерных для них. Для того чтобы получить индекс выравненности необходимо распределение вероятностей p(j) и H'(i/j) нормировать к максимально возможному значению, т. е. нормирование необходимо производить при равномерном распределении. У Мэгаррана [10] H_max=log S, где S – это число видов в ассоциации.

В первом случае все $p(j)$ равны и определяются величиной 1/m. Во втором $H'_м(i/j) = -\sum n * \log n$. Поскольку в рассматриваемых биомах количество растений отличается, необходимо составить единый алфавит. Допустим, 1, 2, …, b. В этом случае $H'_м = -\sum n * \log b$. Однако при небольших различиях длины биома ошибки малы и можно определять максимальную энтропию по первой формуле.

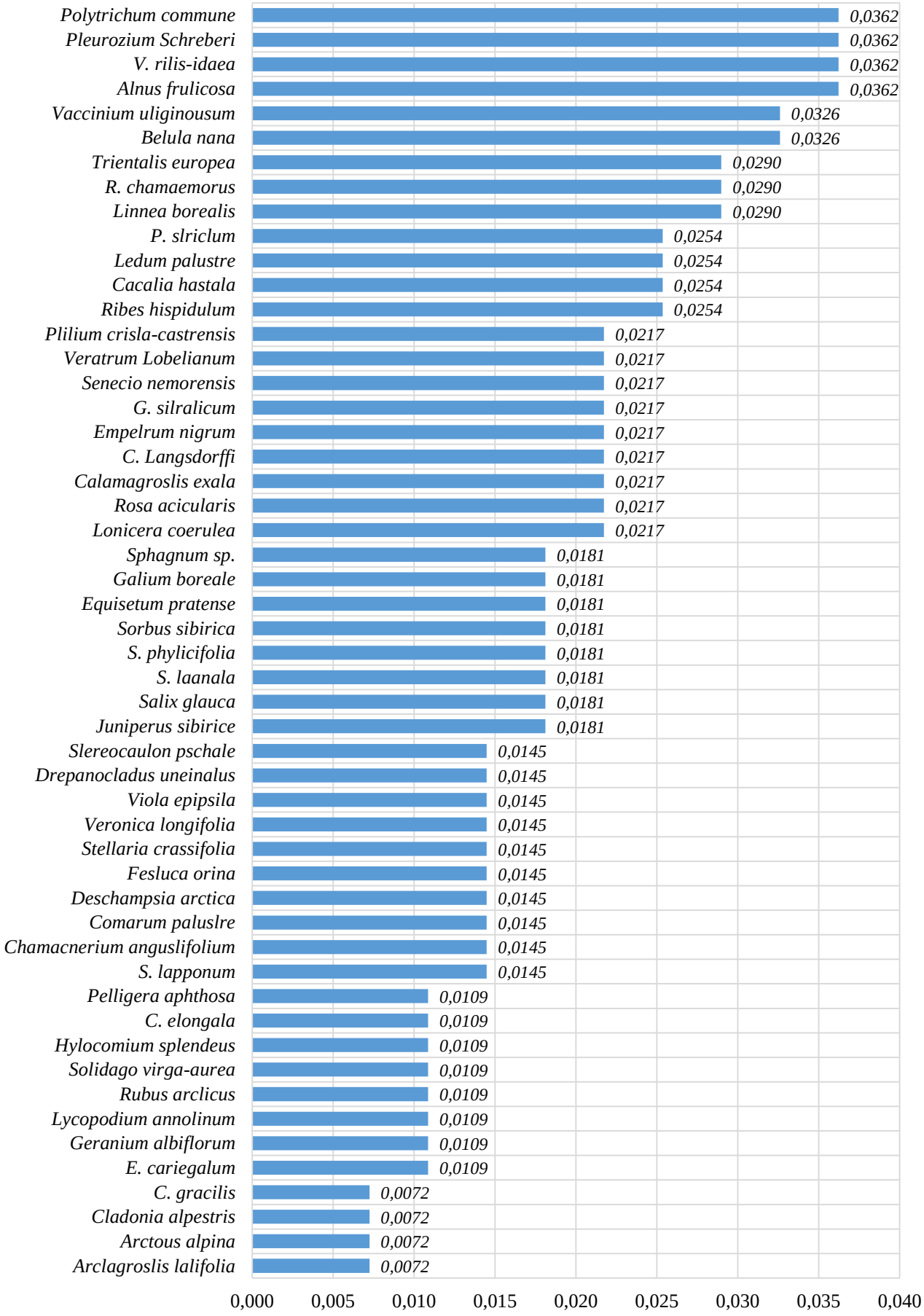


Рис. 1. Гистограмма видового распределения вероятностей для ассоциации лишайниковых лиственничников

Результаты исследований. Итак, сначала необходимо решить две задачи: определить индека Шеннона биомов, характерных для каждого дерева-эдификатора, и оценить распределене вероятностей присутствия доминирующих деревьев-эдификаторов на территории лесхозов юга ЯНАО. После этого – определить среднюю величину индекса биоразнообразия территории ЯНАО, занятой лесом, для каждого лесхоза.

Первую задачу продемонстрируем на примере данных приведенных у Б.Н. Норина [7] по сообществам растений для лишайниковых, мохово-лишайниковых, долгомошниковых, травяно-кустарниковых лиственничников редколесья, у В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной [14] для сосновых, кедрово-сосновых, елово-кедровых и осино-березовых лесов. На рисунке 1 приведен пример распределения вероятностей (долей) встречаемости растений биома лиственничника как эдификатора. По этим данным подсчитан индекс Шеннона и выравненность. Подобным образом рассчитаны индексы H и E для всех ассоциаций (биомов) принятых к рассмотрению. Результаты приведены в таблице 2. Примечательно, что для всех вариантов лиственничников результаты практически одинаковы и могут быть приняты в среднем как 0,965. Для кедрово-еловых среднее значение индекса – 0.8, для сосновых – 0,75 и для осино-березовых – 0,85. Погрешность усреднения не превышает 2–3%.

Таблица 2

Индексы биоразнообразия биомов основных деревьев эдентификаторов[1]

	Норин [7]				Валуцкий [14]				
	Л-трк	Л-м-лш	Л-дм	Л-лш	Е-Кд Пл-зелм	Ос-Б Тр-зелм	Кд С Бр-зелм	С-баг-зел-сф	С-кс-ос-сф
H′	5,5757	5,1944	5,2056	5,3051	4,5633	4,8437	4,5744	4,4721	3,7921
E	0,9781	0,9458	0,9535	0,9604	0,7893	0,8539	0,7949	0,7845	0,7175

Следующая по очередности задача – определить распределения вероятностей присутствия указанных выше видов деревьев-эдификаторов на территории каждого лесхоза ЯНАО: Ямальского, Надымского, Таркосалинского, Ноябрьского и Красноселькупского. Поскольку в конечном итоге нам необходимо определить усредненное значение индекса для каждого лесхоза, можно определить вероятности присутствия каждого вида дерева-эдификатора по площади земель, занятых ими в каждом лесхозе. Данные по состоянию на 1 января 2018 г. приведены на интерактивной карте «Леса России» [13]. В таблице 3(а) приведены значения вероятностей по упомянутым деревьям. Там же приведены индекс Шеннона и выравненности отдельно по древостою для каждого лесхоза. Доминирующее присутствие занимают следующие виды: лиственница, сосна, ель, кедр и береза.

Таблица 3а

Сводная таблица распределения вероятностей и соответствующих индексов Шеннона и выравненностей по основным эдификаторам по лесничествам ЯНАО
(без учета эдификаторной роли)

	лесхоз				
	Ямальский	Надымский	Таркосалинский	Ноябрьский	Красноселькупский
Пихта					0,0001
Сосна	0,1606	0,2728	0,3113	0,5925	0,1894
Ель	0,2481	0,1664	0,2233	0,0246	0,0676
Лиственница	0,3673	0,4644	0,1849	0,1522	0,3217
Кедр	0,1076	0,0214	0,1791	0,1475	0,1968
Береза	0,1156	0,0748	0,1005	0,0827	0,2199
Осина	0,0003	0,0000	0,0000	0,0005	0,0034
Ива	0,0004	0,0002	0,0009	0,0000	0,0011
Индекс Шеннона (H_1)	*2,1677*	*1,8566*	*2,2441*	*1,7024*	*2,2261*
Выравненность I	*0,7226*	*0,6189*	*0,7480*	*0,5675*	*0,7420*

Исследования, проведенные ранее, например, Г.В. Крыловым [19], показывают, что не все деревья, составляющие основу лесов Западной Сибири, могут выполнять функцию эдификаторов. По его данным, в Западной Сибири эдификаторная часть рассматриваемого ареала составляет для кедра сибирского – 35%, для сосны обыкновенной – 82,6%, для лиственницы сибирской и Сукачева – 75%, пихты – 100%, осины – 55%, березы – 67%. Ель отнесена к субэдификаторам и в дальнейшем не

[1] *Обилие видов (S) взято по таблице Валуцкого В. И., Лапшиной Е. И. одно и максимальное для всех ассоциаций*

рассматривается. Таким образом, следует скорректировать данные таблицы 3(а) и получить новые распределения и значения распределения вероятностей для видов эдификаторов. Результаты сведены в таблице 3(б).

Таблица 3б

Сводная таблица распределения вероятностей и соответствующих индексов Шеннона и выравненностей по основным эдификаторам по лесничествам ЯНАО
(с учетом эдификаторной роли)

	лесхоз				
	Ямальский	Надымский	Таркосалинский	Ноябрьский	Красноселькупский
Пихта	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
Сосна	0,1719	0,2824	0,3428	0,6654	0,2615
Ель	0,3214	0,2085	0,2977	0,0335	0,1130
Лиственница	0,3569	0,4364	0,1849	0,1552	0,4033
Кедр	0,0488	0,0097	0,0836	0,0702	0,1152
Береза	0,1003	0,0628	0,0898	0,0754	0,1021
Осина	0,0002	0,0000	0,0000	0,0003	0,0029
Ива	0,0005	0,0002	0,0012	0,0000	0,0018
Индекс Шеннона (H_1)	*2,0474*	*1,8272*	*2,1236*	*1,5266*	*2,1289*
Выравненность I	*0,6825*	*0,6091*	*0,7079*	*0,5089*	*0,7096*

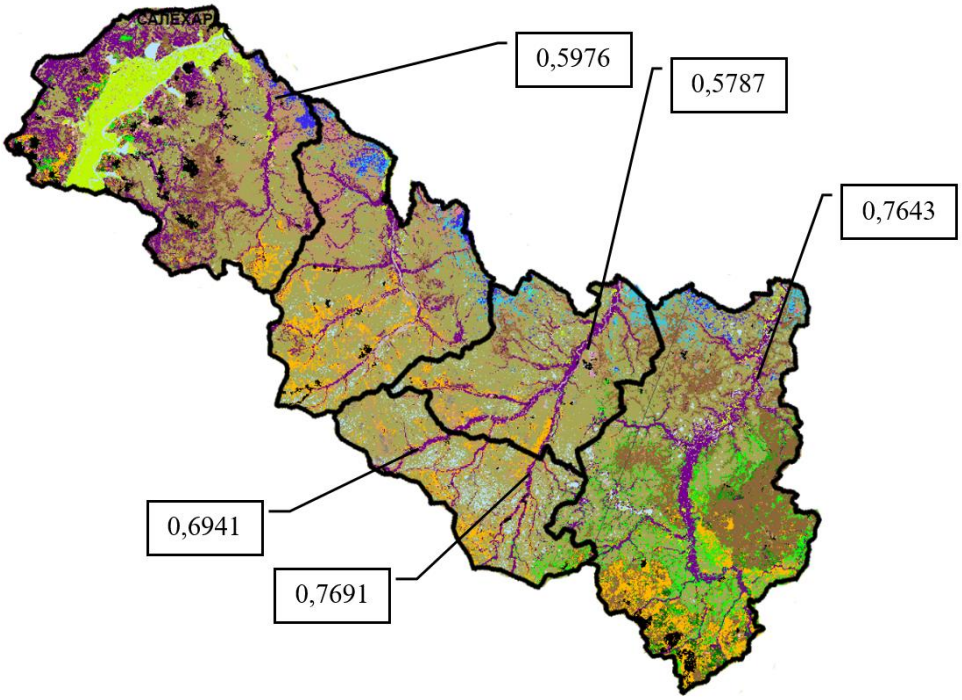


Рис. 2. Усредненная оценка индекса биоразнообразия растительных ассоциаций (выравненности) по лесничествам ЯНАО. Составлено на основе авторских данных и (https://clck.ru/VEsDm)

По результатам в таблице 4 приведены итоговые усредненные значения индексов биоразнообразия для каждого лесхоза ЯНАО, а на рисуке 2 карта с их значениями.

Таблица 4

Индексы выравненности для биомов доминирующих пород деревьев-эдификаторов по лесхозам (с учетом вероятности каждой породы)

	Ямальский лесхоз	Надымский лесхоз	Таркосалинский лесхоз	Ноябрьский лесхоз	Красносель-купский лесхоз
Сосна	0,1289	0,2118	0,2571	0,4991	0,1961
Лиственница	0,3444	0,4211	0,1784	0,1498	0,3892
Кедр	0,0390	0,0078	0,0669	0,0562	0,0922
Береза	0,0853	0,0534	0,0763	0,0641	0,0868
Индекс выравненности усредненный	0,5976	0,6941	0,5787	0,7691	0,7643

Обсуждение. Результаты, приведенные в данной статье, дают лишь приближенную оценку значений индексов биоразнообразия по лесной части территории ЯНАО. Для более точной оценки необходимы полевые наблюдения непосредственно в указанных лесхозах и более точное описание биомов в настоящее время. В данной статье биомы оценивают по встречаемости на участках исследований. Для большей точности необходимо учесть проективное покрытие как, например, у В.И. Валуцкого [14]. Кроме того, необходимо помнить об апостериорной энтропии, т. е. о погрешности недообследованности. Тем не менее, такая методика дает возможность получить значения индексов биоразнообразия территории, занятой лесом, для того, чтобы ориентироваться в первом приближении. Кроме того, она, как на индикатор, позволяет отследить динамику изменения биоразнообразия на более обширной территории.Для определения распределения вероятностей эдификаторов предлагается использовать снимки, сделанные из космоса, и известные заранее индексы биомов, характерные для них.

Литература

1. Ветлужских Н.В. Встречаемость древесных пород в лесных фитоценозах Западной Сибири по широтному градиенту // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. №1(33). С. 6–17. https://doi.org/10.17223/19988591/33/1

2. Городков Б.И. Движение растительности на севере лесной зоны Западно-Сибирской низменности // Проблемы физической географии. Т. 12. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1946. С. 81–105.

3. Кривец С.А., Бисирова Л.М., Чернова Н.А., Пац Е.Н., Керчев И.А. Комплексная характеристика биологического разнообразия кедровых лесов на южном пределе их распространения в Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. №2(26). С. 130–150. https://doi.org/10.17223/19988591/26/9

4. Быков Б.А. Проблемы эдификаторов растительного покрова // Ботанический журнал. 1966. Т. 51. №9. С. 1231–1243.

5. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность. 1974. 423 с.

6. Лукина Н.В., Орлова М.А., Горнов А.В., Крышень А.М., Кузнецов П.В., Князева С.В., Смирнов В.Э. Оценка критериев устойчивого управления лесами с использованием индикаторов международной программы ICP FORESTS // Лесоведение. 2013. №5. С. 62–75.

7. Норин Б.Н. К познанию семенного и вегетативного возобновления древесных пород в лесотундре // Растительность Крайнего Севера и ее освоение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 154–244.

8. Беднова О.В. Биоразнообразие в лесных экосистемах: зачем и как его оценивать // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2003. №2. С. 143-155.

9. Левич А.П. Структура экологических сообществ. М.: МГУ 1980.182 с.

10. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир. 1992.181 с.

11. Исаев А.С. Мониторинг биологического разнообразия лесов России. М.: ИПЭЭ РАН. 1997. 367 с.

12. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. М.: МСОП, 1996. 144 с.

13. Носова А.М., Леонова Н.Б., Тихонова Е.В. Воздействие деревьев-эдификаторов на биологическое разнообразие // Лесоведение. 2005. №4. С. 40–48.

14. Валуцкий В.И. Лапшина Е.И. Структура растительного покрова средней тайги Обь-Иртышского междуречья (бассейна Бол. Салыма) // Геоботанические исследования в Западной и средней Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. С.120-137.

15. Холод С. С. Что отражают индексы бета (β)-разнообразия в арктических тундрах? // Ботанический журнал. 2014. Т. 99. №1. С. 102-121.

16. Розенберг Г.С. Теоретический анализ связи между площадью описания и числом встреченных видов // Биологические науки. 1989. №11. С. 76-83.

17. Розенберг Г.С. Введение в теоретическую экологию. Тольятти. 2013. Т.1. 565 с.

18. Ильина И.С. Лапшина Е.И. Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985.

19. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: Омская картографическая фабрика .2004. 304 с.

20. Быков Б.А. О составлении флоры эдификаторов // Ботанический журнал. 1954. Т. 39. №4. С. 549-558.

21. Лавренко Е.М. Об изучении эдификаторов растительного покрова // Советская ботаника. 1947. Т. 15. №1 С. 5-16.

22. Лесков А.И. Фитоценологический очерк редколесий бассейна р. Полуй //Труды Института ботаники АН СССР. 1938. Т. 3. №4. С. 253-276.

References

1. Vetluzhskikh, N.V. (2016). Occurrence of tree species in forest phytocenoses of West Siberia along a latitudinal gradient. *Tomsk State University Journal of Biology*, (1(33)). 6-17. (in Russ.). https://doi.org/10.17223/19988591/33/1

2. Gorodkov, B.I. (1946). Dvizhenie rastitel'nosti na severe lesnoi zony Zapadno-Sibirskoi nizmennosti. In *Problemy fizicheskoi geografii, 12. Moscow, Leningrad*. 81-105. (in Russ.).

3. Krivets, S.A., Bisirova, L.M., Chernova, N.A., Pats, E.N., & Kerchev, I.A. (2014). A complex description of Siberian stone pine forests biodiversity at the southern border of their outreach in West Siberia (Russia). *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 2(26). 130-150. (in Russ.). https://doi.org/10.17223/19988591/26/9

4. Bykov, B.A. (1966). Problemy edifikatorov rastitel'nogo pokrova. *Botanicheskii zhurnal, 51*(9). 1231–1243.

5. Lir, Kh., Pol'ster, G., & Fidler, G.-I. (1974). Fiziologiya drevesnykh rastenii. Moscow. (in Russ.).

6. Lukina, N.V., Orlova, M.A., Gornov, A.V., Kryshen', A.M., Kuznetsov, P.V., Knyazeva, S.V., & Smirnov, V.E. (2013). Otsenka kriteriev ustoichivogo upravleniya lesami s ispol'zovaniem indikatorov mezhdunarodnoi programmy ICP FORESTS. *Lesovedenie,* (5). 62–75. (in Russ.).

7. Norin, B.N. (1958). K poznaniyu semennogo I vegetativnogo vozobnovleniya drevesnykh porod v lesotundre. In *Ras-titel'nost' Krainego Severa I ee osvoenie. Moscow, Leningrad*, 154–244.

8. Bednova, O.V. (2003). Biodiversity of forest ecosystems: why and how to assess it. *Lesnoy Vestnik / Forestry Bulletin*, (2). 143-155. (in Russ.).

9. Levich, A.P. (1980). Struktura ekologicheskikh soobshchestv. Moscow. (in Russ.).

10. Megarran, E. (1992). Ekologicheskoe raznoobrazie I ego izmerenie. Moscow. (in Russ.).

11. Isaev, A.S. (1997). Monitoring biologicheskogo raznoobraziya lesov Rossii. Moscow. (in Russ.).

12. Atlas biologicheskogo raznoobraziya lesov Evropeiskoi Rossii I sopredel'nykh territorii (1996). Moscow. (in Russ.).

13. Nosova, A.M., Leonova, N.B., & Tikhonova, E.V. (2005). Vozdeistvie derev'ev-edifikatorov na biologicheskoe raznoobrazie. *Lesovedenie,* (4). 40–48. (in Russ.).

14. Valutskii, V.I. & Lapshina, E.I. (1987). Struktura rastitel'nogo pokrova srednei 39rete Ob'-Irtyshskogo mezhdurech'ya (basseina Bol. Salyma). In *Geobotanicheskie issledovaniya v Zapadnoi I srednei Sibiri,* Novosibirsk, 120-137. (in Russ.).

15. Kholod, S.S. (2014). Chto otrazhayut indeksy beta (β)-raznoobraziya v arkticheskikh tundrakh? *Botanicheskii zhurnal, 99*(1). 102-121. (in Russ.).

16. Rozenberg, G.S. (1989). Teoreticheskii analiz svyazi mezhdu ploshchad'yu opisaniya I chislom vstrechennykh vidov. *Biologicheskie nauki,* (11). 76-83. (in Russ.).

17. Rozenberg, G.S. (2013). Vvedenie v teoreticheskuyu ekologiyu. Tol'yatti, 1. (in Russ.).

18. Il'ina, I.S. Lapshina, E.I. & Lavrenko, N.N. (1985). Rastitel'nyi pokrov Zapadno-Sibirskoi ravniny. Novosibirsk. (in Russ.).

19. Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga (2004). Omsk. (in Russ.).

20. Bykov, B.A. (1954). O sostavlenii Flory edifikatorov. *Botanicheskii zhurnal, 39*(4). 549-558. (in Russ.).

21. Lavrenko, E.M. (1947). Ob izuchenii edifikatorov rastitel'nogo pokrova. *Sovetskaya botanika, 15*(1). 5-16.

22. Leskov, A.I. (1938). Fitotsenologicheskii ocherk redkolesii basseina r. Polui. *Trudy Instituta botaniki AN SSSR, 3*(4). 253-276. (in Russ.).

Цибульский В.Р., Арефьев С.П., Новиков В.П., Соловьев И.Г., Говорков Д.А. Определение индекса биоразнообразия шеннона растительных сообществ, образованных деревьями-эдификаторами на примере лесов севера Западной Сибири // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 32-39. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/04

Tsibulsky, V.R., Arefev, S.P., Novikov, V.P., Solovyev, I.G. & Govorkov, D.A. (2021). Determination of the Shannon Biodiversity Index of Plant Communities Formed by Edificatory trees using the Example of Forests in the North of Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 32-39. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/04

дата поступления: 19.10.2020 дата принятия: 25.12.2021

УДК 58.009+502.753
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/05

Шестак П.С., Чаус Б.Ю., Султангареева Л.А.

РЕСУРСЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БАШКИРИИ» РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Shestak P.S., Chaus B.Y., Chaus B.Y.

RESOURCES OF MEDICINAL PLANTS OF THE NATIONAL PARK «BASHKIRIA» OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Аннотация. Растительность национального парка «Башкирия» представляет собой одну из базовых составляющих для изучения флоры и растительности Республики Башкортостан. Учет и охрана такого биоразнообразия растений важно для их сохранения и изучения. По итогам геоботанических исследований в национальном парке «Башкирия» в весенне-летний период 2020 г. выявлено 270 видов лекарственных растений, относящихся к 61 семейству, из которых большинство по количеству видов представлены семействами Asteraceae, Lamiaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Fabaceae и Apiaceae. Несмотря на то, что в геоморфологическом отношении национальный парк входит в район низкогорного рельефа восточной области гор Южного Урала, в национальном парке «Башкирия» преобладают лекарственные растения, относящиеся к луговым и лесным ценотическим группам. Подтверждено наличие обнаруженных ранее видов: *Rhodiola iremelica* Boriss – родиолы иремельской, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench – цмина песчаного, *Cypripedium guttatum* Sw. – венерина башмачка пятнистого, – включенных в Красную книгу Башкирии. Кроме того, встречен *Stipa pennata* L. – ковыль перистый, включенный как в Красную книгу Башкирии, так и в Красную книгу России.

Ключевые слова: национальный парк «Башкирия», лекарственные растения, охрана растительных ресурсов.

Сведения об авторах: Шестак Полина Сергеевна, Башкирский государственный университет, г. Стерлитамак, Россия, ail: 1shestak@mail.ru; Чаус Борис Юрьевич, ORCID: 0000-0003-4465-6872, канд. биол. наук, Башкирский государственный университет, г. Стерлитамак, Россия chaus-str@mail.ru; Султангареева Лилия Асфандияровна, канд. биол. наук, национальный парк «Башкирия», с. Нугуш, Россия, npb.nauka@gmail.com

Abstract. The vegetation of the Bashkiria National Park is one of the basic components for studying the flora and vegetation of the Republic of Bashkortostan. Accounting and protection of such plant biodiversity is important for their conservation and study. Based on the results of geobotanical surveys in the Bashkiria National Park in the spring-summer period of 2020, 270 species of medicinal plants belonging to 61 families were identified, of which the majority in terms of the number of species are represented by the families Asteraceae, Lamiaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Fabaceae and Apiaceae. Despite the fact that in geomorphological terms the national park is included in the region of low-mountainous relief of the eastern region of the mountains of the Southern Urals, medicinal plants belonging to meadow and forest coenotic groups prevail in the Bashkiria National Park. The presence of previously discovered species such as Rhodiola iremelica Boriss – Rhodiola Iremel, Helichrysum arenarium (L.) Moench – Sandy cumin, Cypripedium guttatum Sw. – spotted lady's slipper, included in the Red Book of Bashkiria. In addition, Stipa pennata L. was found – feather grass included in both the Red Book of Bashkiria and the Red Book of Russia.

Keywords: national park "Bashkiria", medicinal plants, protection of plant resources.

About the authors: Shestak Polina Sergeevna, Bashkir State University, Sterlitamak, Russia, 1shestak@mail.ru; Chaus Boris Yuryevich, ORCID: 0000-0003-4465-6872, Ph.D., Bashkir State University, Sterlitamak, Russia chaus-str@mail.ru; Sultangareeva Lilia Asfandiyarovna, Ph.D., National Park "Bashkiria", Nugush village, Russia, npb.nauka@gmail.com

Введение. Изучением биоразнообразия лекарственных растений (ЛР) занимаются во всем мире, в частности и в России. Геоботаническими исследованиями Урала и отдельных его территорий занимались и занимаются Е.В. Кучеров, Б.М. Миркин, Л.М. Абрамова, А.А. Мулдашев, Л.Г. Наумова, Т.Г. Ивченко и др. [3, с. 1087]. Повсеместно стремятся классифицировать и объединить растения в единый список [19, с. 225]. Некоторые данные по ресурсному запасу лекарственных растений Южного Урала приведены в статье С.Н. Жигуновой [5].

В список ЛР входят растения, применяемые как в научной, так и в народной медицине. Включение того или иного вида в список лекарственных растений национального парка (НП) «Башкирия» было основано на использовании флористического списка С.Н. Жигуновой [4, с. 110].

С точки зрения географической характеристики можно отметить, что с севера и запада национальный парк граничит с Мелеузовским лесхозом и землепользователями Мелеузовского района, с востока он граничит с заповедником «Шульган-Таш», а с юга – с Бурзянским и Кугарчинским лесхозами [1; 14, с. 47.]. Климат на территории НП «Башкирия» континентальный, имеющий большую гамму микроклиматических особенностей, что обеспечивает развитие видового разнообразия растений

[14, с. 91]. Тем не менее, недостаток внимания к охране ресурсов приводит к уменьшению этого разнообразия.

Классификация и учет любых видов растений важны для сохранения фиторазнообразия и рационального использования растительных ресурсов России [18, с. 4]. В настоящее время на территории Республики Башкортостан выявлен 301 вид лекарственных растений [4, с. 109]. Здесь преобладают виды с европейско-западноазиатским, евроазиатским и голарктическим типами ареалов. При этом количество адвентивных видов составляет 12,6% от всех видов лекарственной флоры [4, с. 109].

В весенне-летний период 2020 г. проводились исследования, на основании которых был дополнен флористический список НП «Башкирия», составленный С.Н. Жигуновой [4, с. 110, 114]. В данном списке уже было выявлено 812 видов сосудистых растений, относящихся к 377 родам и 103 семействам [7, с. 56].

Лекарственные растения НП исследовались полустационарным и маршрутным методами в ходе полевых выездов и экскурсий. При определении лекарственных растений использовался «Определитель высших растений Башкирской АССР», ч. 1, ч. 2 (1988 и 1989) и др. научные источники [16; 17]. Видовые названия всех растений даны в соответствии со сводкой С.К. Черепанова [20]. Виды растений, которые не смогли идентифицировать в полевых условиях, гербаризировались. Собранный справочный гербарий содержит более 80 видов. По итогам геоботанических обследований в весенне-летний период 2020 г. выявлено 270 видов лекарственных растений, относящихся к 61 семейству (большинство составляют семейства Asteraceae, Lamiaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Fabaceae и Apiaceae).

Список лекарственных растений Национального парка «Башкирия» на август 2020 г.

Класс Equisetopsida – Хвощевые

Семейство Equisetaceae Rich. exDC. – Хвощевые

1. *Equisetum arvense* L. –Хвощ полевой – Луг.
2. *Equisetum fluviatile* L. – Хвощ речной – Прибр.-водн.
3. *Equisetum hyemale* L. – Хвощ зимующий – Лесн.
4. *Equisetum palustre* L. – Хвощ болотный – Болот.
5. *Equisetum sylvaticum* L. – Хвощ лесной – Лесн.

Класс Pinopsida (Coniferae) – Хвойные

Семейство Pinaceae Lindl. – Сосновые

6. *Abies sibirica* Ledeb. – Пихта сибирская – Лесн.
7. *Larix sukaczewii* Dyl. – Лиственница Сукачева – Лесн.
8. *Picea obovata* Ledeb. – Ель сибирская – Лесн.
9. *Pinus sylvestris* L. – Сосна обыкновенная – Лесн.

Класс Magnoliopsida (Dicotyledones) – Двудольные

Семейство Aristolochiaceae Juss. – Кирказоновые

10. *Asarum europaeum* L. – Копытень европейский – Лесн.

Семейство Nymphaeaceae Salisb. – Кувшинковые

11. *Nupha rlutea* (L.) Smith – Кубышка желтая – Водн.

Семейство Oleaceae Hoffmgg. EtLink – Маслинные

12. *Syringa vulgaris* L. – Сирень обыкновенная – Лесн.

Семейство Ranunculaceae Juss. – Лютиковые

13. *Aconitum lycoctonum* L. (*A. septentrionale* Koelle) – Аконит северный – Лесн.
14. *Actaeae rythrocarpa* Fisch. – Воронец красноплодный – Лесн.
15. *Actaeas picata* L. – Воронец колосовидный – Лесн.
16. *Adonis vernalis* L. – Адонис весенний – Луг.-степн.
17. *Anemone sylvestris* L. – Ветреница лесная – Луг.-степн.
18. *Anemonoides ranunculodes* (L.) Holub – Ветреничка лютиковидная – Лесн.
19. *Atragene speciosa Weinm*. (*A. sibirica* L.) – Княжик сибирский – Лесн.
20. *Caltha palustris* L. – Калужница болотная – Луг.-болот.
21. *Consolida regalis* S. F. Gray – Консолида полевая Сорн.
22. *Delphinium elatum* L. – Живокость высокая – Лесн.
23. *Pulsatilla patens* (L.) Mill. – Прострел раскрытый - Луг.-степн.
24. *Ranunculus acris* L. – Лютик едкий – Луг.-болот.
25. *Thalictrum flavum* L. – Василистник желтый – Луг.
26. *Thalictrum foetidum* L. – Василистник вонючий – Скальн.
27. *Thalictrum minus* L. – Василистник малый – Луг.
28. *Thalictrum simplex* L. – Василистник простой – Луг.

Семейство Papaveraceae Juss. – Маковые

29. *Chelidonium majus* L. – Чистотел большой – Лесн.

Семейство Fumariaceae DC. – Дымянковые

30. *Corydalis bulbosa* (L.) DC. – Хохлатка плотная – Лесн.
31. *Fumaria officinalis* L. – Дымянка лекарственная – Сорн.

Семейство Caryophyllaceae Juss. – Гвоздичные

32. *Coccyganthe flos-cuculi* (L.) Fourr. – Горицвет кукушкин – Луг.-болот.
33. *Herniaria glabra* L. – Грыжник гладкий – Луг.
34. *Oberna behen* (L.) Ikonn. – Оберна хлопушка – Луг.
35. *Saponaria officinalis* L. – Мыльнянка лекарственная – Луг.
36. *Silene nutans* L. – Смолевка поникающая – Лесн.
37. *Stellaria media* (L.) Vill. – Звездчатка средняя, мокрица – Сорн.
38. *Viscari*a viscosa (Scop.) Aschers. (*Steris viscaria* (L.) Rafin.) – Смолка обыкновенная – Луг.

Семейство Chenopodiaceae Vent. – Маревые

39. *Salsola collina* Pall. – Солянка холмовая – Сорн.

Семейство Polygonaceae Juss. – Гречишные

40. *Aconogonon alpinum* (All.) Schur – Горец альпийский – Луг.
41. *Bistorta major* S. F. Gray – Горец змеиный – Луг.
42. *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love – Фаллопия вьющаяся – Сорн.
43. *Persicaria hydropiper* (L.) Spach – Горец перечный, Прибр.-водн.
44. *Persicaria maculosa S.F. Gray* (Rafin.) A.et D. Love – Горец почечуйный гибрид – Прибр.-водн.
45. *Polygonum arenastrum Boreau* (*P. aviculare* auct.) – Горец Птичий – Сорн.
46. *Rumex acetosa* L. – Щавель обыкновенный – Луг.
47. *Rumex acetosella* L. – Щавель воробьиный – Луг.
48. *Rumex aquaticus* L. – Щавель водный Прибр.-водн.
49. *Rumex confertus* Willd. – Щавель конский Луг.

Семейство Fagaceae Dumort. – Буковые

50. *Quercus robur* L. – Дуб черешчатый Лесн.

Семейство BetulaceaeS. F. Gray – Березовые

51. *Alnus incana* (L.) Moench. – Ольха серая Лесн.
52. *Betula pendula* Roth – Береза бородавчатая Лесн.
53. *Betula pubescens* Ehrh. – Береза пушистая Лесн.
54. *Corylus avellana* L. – Лещина обыкновенная Лесн.

Семейство Hypericaceae Juss. – Зверобойные

55. *Hypericum elegans* Steph. – Зверобой изящный - Луг.-степн.
56. *Hypericum hirsutum* L. – Зверобой волосистый – Луг.
57. *Hypericum maculatum* Crantz – Зверобой пятнистый – Луг.
58. *Hypericum perforatum* L. – Зверобой продырявленный – Луг.

Семейство Pyrolaceae Dumort. – Грушанковые

59. *Orthilia secunda* (L.) House – Ортилия однобокая – Лесн.
60. *Pyrola rotundifolia* L. – Грушанка круглолистная – Лесн.

Семейство Primulaceae Vent. –Первоцветные

61. *Androsace septentrionalis* L. – Проломник северный – Степн.
62. *Lysimachia nummularia* L. – Вербейник монетный – Луг.
63. *Lysimachia vulgaris* L. – Вербейник обыкновенный – Луг.
64. *Primula macrocalyx* Bunge – Примула крупночашечная – Луг.

Семейство ViolaceaeBatsch – Фиалковые

65. *Viola suavis* Bieb. – Фиалка приятная – Лесн.
66. *Viola tricolor* L. – Фиалка трехцветная – Луг.

Семейство SalicaceaeMirb. – Ивовые

67. *Populus nigra* L. – Тополь черный – Лесн.
68. *Populus tremula* L. – Тополь дрожащий, осина – Лесн.
69. *Salix alba* L. – Ива белая – Прибр.-водн.
70. *Salix caprea* L. – Ива козья – Лесн.

Семейство Brassicaceae Burnett – Капустные

71. *Barbarea vulgaris* R. Br. – Сурепка обыкновенная – Луг.
72. *Berteroa incana* (L.) DC. – Икотник серый – Сорн.
73. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. – Пастушья сумка обыкновенная – Сорн.
74. *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl – Декурения Софии – Сорн.
75. *Erysimum cheiranthoides* L. – Желтушник левкойный = *Erysimum canescens* Roth. – Желтушник раскидистый – Луг.
76. *Thlaspi arvense* L. – Ярутка полевая – Сорн.

Семейство TiliaceaeJuss. – Липовые

77. *Tilia cordata* Mill. – Липа сердцелистная – Лесн.

Семейство Malvaceae Juss. – Мальвовые

78. *Lavatera thuringiaca* L. – Хатьма тюрингенская – Луг.-степн.
79. *Malva pusilla* Smith. – Мальва приземистая, низкая – Сорн.

Семейство Ulmaceae Mirb. – Вязовые

80. *Ulmus glabra* Huds. – Вяз шершавый – Лесн.
81. *Ulmus laevis* Pall. – Вяз гладкий – Лесн.

Семейство Cannabaceae Endl. – Коноплевые

82. *Humulus lupulus* L. – Хмель обыкновенный – Лесн.

Семейство UrticaceaeJuss. – Крапивные

83. *Urtica dioica* L – Крапива двудомная – Сорн.
84. *Urtica urens* L. – Крапива жгучая – Сорн.

Семейство EuphorbiaceaeJuss. – Молочайные

85. *Euphorbia seguieriana* Neck. – Молочай Сегье – Степн.
86. *Euphorbia semivillosa* Prokh. – Молочай полумохнатый – Луг.-степн.

Семейство CrassulaceaeDC. – Толстянковые

87. *Hylotelephium triphyllum* (Haw.) Holub – Заячья капуста, очитник трехлистный – Луг.-степн.
88. *Rhodiola iremelica* Boriss. – Родиола иремельская – Скалн.

Семейство GrossulariaceaeDC. – Крыжовниковые

89. *Ribes spicatum* Robson (*R. hispidulum*auct.) – Смородина колосистая (с. щетинистая) – Лесн.

Семейство RosaceaeJuss. – Розоцветные

90. *Agrimonia asiatica* Juz. – Репейничек азиатский – Луг.
91. *Alchemilla* sp. – Манжетка – Луг.
92. *Amygdalus nana* L. – Миндаль низкий – Степн.
93. *Cerasus fruticosa* Pall. – Вишня кустарниковая – Степн.
94. *Crataegus sanguinea* Pall. – Боярышник кроваво-красный – Лесн.
95. *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. – Лабазник вязолистный – Луг.-болот.
96. *Filipendula vulgaris* Moench. – Лабазник обыкновенный – Луг.-степн.
97. *Fragaria vesca* L. – Земляника лесная – Лесн.
98. *Fragaria viridis* (Duch.) Weston – Земляниказеленая, клубника – Луг.-степн.
99. *Geum rivale* L. – Гравилат речной – Луг.-болот.
100. *Geumur banum* L. – Гравилат городской – Луг.-болот.
101. *Padus avium* Mill. – Черемуха уединенная – Лесн.
102. *Potentilla anserina* L. – Лапчатка гусиная – Луг.
103. *Potentilla arenaria* Borkh. – Лапчатка песчаная – Луг.
104. *Potentilla erecta* (L.) Raeusch. – Лапчатка прямостоячая – Луг.-болот.
105. *Rosa glabrifolia* C. A. Mey. ex Rupr. – Роза гололистная – Лесн.
106. *Rosa majalis* Hernm. – Роза майская – Лесн.
107. *Rubus caesius* L. – Ежевика сизая – Лесн.
108. *Rubus idaeus* L. – Малина – Лесн.

109. *Sanguisorba officinalis* L. – Кровохлебка лекарственная – Луг.
110. *Sorbus aucuparia* L. – Рябина обыкновенная – Лесн.

Семейство LythraceaeJ. St.-Hill. – Дербенниковые

111. *Lythrum salicaria* L. – Дербенник иволистный, плакун-трава – Луг.-болот.

Семейство Onograceae Juss. – Кипрейные

112. *Chamerion angustifolium* (L.) Scop. – Иван-чай узколистный – Лесн.
113. *Circaea lutetiana* L. – Двулепестник парижский – Луг.-болот.
114. *Epilobium palustre* L. – Кипрей болотный – Болотн.

Семейство Fabaceae Lindl. – Бобовые

115. *Amoria repens* (L.) C. Presl. – Клевер ползучий – Луг.
116. *Chamaecytisus ruthenica* (Fisch. ex Wołoszcz.) Klásková – Ракитник русский – Лесн.
117. *Genista tinctoria* L. – Дрок красильный – Луг.-степн.
118. *Lathyrus gmelinii* Fritsch – Чина Гмелина – Лесн.
119. *Lathyrus pisiformis* L. – Чина гороховидная – Луг.-степн.
120. *Lathyrus pratensis* L. – Чина луговая – Луг.
121. *Lathyrus sylvestris* L. – Чина лесная Луг.
122. *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. – Чина весенняя – Лесн.
123. *Melilotus officinalis* (L.) Pall. – Донник лекарственный – Сорн.
124. *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. – Эспарцет песчаный = *Onobrychis sibirica* (Sirj.) – Луг.-степн.
125. *Trifolium medium*. – Клевер средний – Сорн.
126. *Trifolium pratense* L. – Клевер луговой – Луг.
127. *Vicia cracca* L. – Горошек мышиный – Луг.
128. *Vicia sepium* L. – Горошек заборный – Сорн.

Семейство Aceraceae Juss. – Кленовые

129. *Acer platanoides* L. – Клен остролистный – Лесн.

Семейство Oxalidaceae R. Br. – Кисличные

130. *Oxalis acetosella* L. – Кислица обыкновенная – Лесн.

Семейство Geraniaceae Juss. – Гераниевые

131. *Erodium cicutarium* (L.) L'Her. – Аистник цикутный – Сорн.
132. *Geranium pratense* L. – Герань луговая – Луг.
133. *Geranium robertianum* L. – Герань Роберта –Лесн.
134. *Geranium sanguineum* L. – Герань кровяно-красная – Луг.-степн.
135. *Geranium sylvaticum* L. – Герань лесная – Лесн.

Семейство Balsaminaceae A. Rich. – Бальзаминовые

136. *Impatiens noli-tangere* L. – Недотрога обыкновенная – Лесн.

Семейство Polygalaceae R. Br. – Истодовые

137. *Polygala comosa* Schkuhr. – Истод хохлатый – Луг.
138. *Polygala sibirica* L. – Истод сибирский – Степн.

Семейство Celastraceae R. Br. – Древогубцевые

139. *Euonymus verrucosa* Scop. – Бересклет бородавчатый – Лесн.

Семейство Rhamnaceae Juss. – Крушиновые

140. *Frangula alnus* Mill. – Крушина ломкая – Лесн.
141. *Rhamnus cathartica* L. – Жестер слабительный – Лесн.

Семейство Apiaceae Lindl. – Зонтичные

142. *Aegopodium podograria* L. – Сныть обыкновенная – Лесн.
143. *Angelica archangelica* L. – Дягиль лекарственный – Лесн.
144. *Angelica sylvestris* L. – Дудник лесной – Лесн.
145. *Bupleurum longifolium* L. – Володушка длиннолистная – Лесн.
146. *Bupleurum multinerve* DC. – Володушка многожилковая – Степн.
147. *Carum carvi* L. – Тмин обыкновенный – Сорн.
148. *Chaerophyllum prescottii* DC. – Бутень Прескотта – Луг.
149. *Coniumm aculatum* L. – Болиголов крапчатый – Сорн.
150. *Eryngium planum* L. – Синеголовник плоский – Луг.
151. *Heracleum sibiricum* L. – Борщевик сибирский – Луг.
152. *Pastinaca sylvestris* Mill. – Патернак лесной = Pastinaca sativa L. – Пастернак посевной – Сорн.
153. *Pimpinella saxifraga* L. – Бедренец камнеломка – Луг.

Семейство Caprifoliaceae Juss. – Жимолостные

154. *Sambucus sibirica* Nakai – Бузина красная, или бузина обыкновенная – *Sambúcus racemósa* – Лесн.

Семейство Viburnaceae Rafin. – Калиновые

155. *Viburnum opulus* L. – Калина обыкновенная – Лесн.

Семейство Valerianaceae Batsch – Валериановые

156. *Valeriana officinalis* L. – Валериана лекарственная – Луг.-болот.
157. *Valeriana wolgensis* Kazak. – Валериана волжская – Лесн.

Семейство Dipsacaceae Juss. – Ворсянковые

158. *Knautia arvensis* (L.) Coult. – Короставник полевой – Луг.
159. *Succisa pratensis* Moench – Сивец луговой – Луг.

Семейство Rubiaceae Juss. – Мареновые

160. *Galium aparine* L. – Подмаренник цепкий – Сорн.
161. *Galium odoratum* (L.) Scop. – Подмаренник душистый – Лесн.
162. *Galium verum* L. – Подмаренник настоящий – Луг.-степн.

Семейство Gentianaceae Juss. – Горечавковые

163. *Centaurium erythraea* Rafn – Золототысячник обыкновенный – Луг.
164. *Gentiana cruciata* L. – Горечавка перекрестнолистная – Луг.-степн.
165. *Menyanthes trifoliata* L. – Вахта трехлистная – Луг.-болот.

Семейство Solanaceae – Пасленовые

166. *Hyoscyamus niger* L. – Белена черная – Сорн.
167. *Solanum dulcamara* L. – Паслен сладко-горький – Луг.-болот.

Семейство Convolvulaceae Juss. – Вьюнковые

168. *Convolvulus arvensis* L. – Вьюнок полевой – Сорн.
169. *Calystegia sepium* (L.) R. Br. – Повой заборный – Лесн.

Семейство Polemoniaceae Juss. – Синюховые

170. *Polemonium caeruleum* L. – Синюха голубая – Луг.-болот.

Семейство BoraginaceaE Juss. – Бурачниковые

171. *Cynoglossum officinale* L. – Чернокорень лекарственный – Сорн.
172. *Echium vulgare* L. – Синяк обыкновенный – Сорн.
173. *Lithospermum officinale* L. – Воробейник лекарственный – Сорн.
174. *Myosotis arvensis* (L.) Hill – Незабудка полевая – Сорн.
175. *Onosma simplicissima* L. – Оносма простейшая – Степн.
176. *Pulmonaria mollis* Wulf. ex Hornem. – Медуница мягенькая – Лесн.
177. *Pulmonaria obscura* Dumort. – Медуница неясная – Лесн.
178. *Symphytum officinale* L. – Окопник лекарственный – Луг.-болот.

Семейство Scrophulariaceae Juss. – Норичниковые

179. *Digitalis grandiflora* Mill. – Наперстянка крупноцветковая – Лесн.
180. *Euphrasia pectinata* Ten. – Очанка гребенчатая – Луг.
181. *Linaria vulgaris* L. – Льнянка обыкновенная – Луг.
182. *Melampyrum cristatum* L. – Марьянник гребенчатый – Луг.
183. *Melampyrum pratense* L. – Марьянник луговой – Лесн.
184. *Rhinanthus vernalis* (N. Zing.) Schischk. et Serg. – Погремок весенний – Луг.
185. *Scrophularia nodosa* L. – Норичник шишковатый – Лесн.
186. *Verbascum thapsus* L. – Коровяк медвежье ухо – Степн.
187. *Veronica chamaedrys* L. – Вероника дубравная – Лесн.
188. *Veronica officinalis* L. – Вероника лекарственная – Лесн.
189. *Veronica spuria* L. – Вероника ненастоящая – Луг.

Семейство Plantaginaceae Juss. – Подорожниковые

190. *Plantago lanceolata* L. – Подорожник ланцетолистный – Луг.
191. *Plantago major* L. – Подорожник большой – Луг.
192. *Plantago media* L. – Подорожник средний – Луг.
193. *Plantago urvillei* Opiz – Подорожник степной – Луг.-степн.

Семейство Lamiaceae Lindl. – Яснотковые

194. *Clinopodium vulgare* L. – Пахучка обыкновенная – Луг.-степн.
195. *Dracocephalum ruyschiana* L. – Змееголовник Руйша – Луг.-степн.
196. *Galeopsis bifida* Boenn. – Пикульник двунадрезный – Сорн.
197. *Glechoma hederacea* L. – Будра плющевидная – Лесн.
198. *Lamium album* L. – Яснотка белая – Лесн.
199. *Lamium purpureum* L.– Яснотка пурпурная – Луг.
200. *Leonurus quiquelobatus* Gilib. – Пустырник пятилопастной – Сорн.
201. *Lycopus europaeus* L. – Зюзник европейский – Луг.-болот.
202. *Mentha arvensis* L. – Мята полевая – Луг.-болот.
203. *Mentha longifolia* (L.) Huds. – Мята длиннолистная – Прибр.-водн.
204. *Nepeta pannonica* L. – Котовник венгерский – Луг.-степн.
205. *Origanum vulgare* L. – Душица обыкновенная – Луг.
206. *Phlomoides tuberosa* (L.) Moench – Зопник клубненосный – Луг.-степн.
207. *Prunella vulgaris* L. – Черноголовка обыкновенная – Луг.
208. *Prunella grandiflora* (L.) – Черноголовка крупноцветковая вариант – Луг.
209. *Salvia stepposa* Shost. – Шалфей степной – Степн.
210. *Salvia nutans* L. – Шалфей поникающий – Степн.
211. *Salvia verticillata* L. – Шалфей мутовчатый – Луг.-степн.
212. *Scutellaria galericulata* L. – Шлемник обыкновенный – Луг.-болот.
213. *Stachys officinalis* (L.) Trevis. – Чистец лекарственный – Луг.
214. *Stachys palustris* L. – Чистец болотный – Луг.-болот.
215. *Stachys sylvatica* L. – Чистец лесной – Лесн.
216. *Thymus marschallianus* Willd. – Тимьян Маршала – Луг.-Степн.
217. *Thymus guberlinensis* Iljin – Тимьян мугоджарский – Скальн.
218. *Thymus serpyllum* L. – Тимьян ползучий – Скальн.

Семейство Campanulaceae Juss. – Колокольчиковые

219. *Campanula glomerata* L. – Колокольчик скученный – Луг.

Семейство Asteraceae Dumort. – Сложноцветные

220. *Achillea millefolium* L. – Тысячелистник обыкновенный – Луг.
221. *Achillea nobilis* L. – Тысячелистник благородный – Луг.-степн.
222. *Antennaria dioica* (L.) – Кошачья лапка двудомная – Луг.
223. *Anthemis subtinctoria* Dobrocz. – Пупавка красильная = *Anthemis tinctoria* L. – Сорн.
224. *Arctium lappa* L. – Лопух большой – Сорн.
225. *Arctium tomentosum* Mill. – Лопух войлочный – Сорн.
226. *Artemisia abrotanum* L. – Полынь лечебная – Луг.
227. *Artemisia absinthium* L. – Полынь горькая – Сорн.
228. *Artemisia latifolia* Ledeb. – Полынь широколистная – Луг.-степн.
229. *Artemisia dracunculus* L. – Полынь эстрагон – Луг.
230. *Artemisia vulgaris* L. – Полынь обыкновенная – Сорн.
231. *Bidens tripartita* L. – Череда трехраздельная – Прибр.-водн.
232. *Cacalia hastata* L. – Какалия копьевидная – Лесн.
233. *Centaurea cyanus* L – Василек синий – Луг.
234. *Centaurea scabiosa* L. – Василек шероховатый – Луг.
235. *Cichorium intybus* L. – Цикорий обыкновенный – Луг.
236. *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill – Бодяк разнолистный – Луг.

237. *Cirsiumo leraceum* (L.) Scop. – Бодяк огородный – Лесн.
238. *Cirsium setosum* (Willd.) Bess. – Бодяк щетинистый – Сорн.
239. *Conyza canadensis* (L.) Cronq. – Мелколепестник канадский – Сорн.
240. *Crepis sibirica* L. – Скерда сибирская – Лесн.
241. *Echinops sphaerocephalus* L. – Мордовник шароголовый – Сорн.
242. *Eupatorium cannabinum* L. – Посконник коноплевидный – Луг.-болот.
243. *Galatella villosa* (L.) Rchb.f. – Солонечник мохнатый – Степн.
244. *Helichrysum arenarium* (L.) Moench – Цмин песчаный – Луг.-степн.
245. *Inula britannica* L. – Девясил британский – Сорн.
246. *Inula helenium* L. – Девясил высокий – Луг.
247. *Inula salicina* L. – Девясил иволистный – Луг.
248. *Leucanthemum vulgare* Lam. – Нивяник обыкновенный – Луг.
249. *Matricaria recutita* L. – Ромашка аптечная Луг.-степн.
250. *Petasites spurius* (Retz.) Reichenb. – Белокопытник ложный – Прибр.-водн.
251. *Senecio vulgaris* L. – Крестовник обыкновенный – Сорн.
252. *Serratula coronata* L. – Серпуха венценосная Луг.-степн.
253. *Serratula gmelinii* Tausch. – Серпуха Гмелина – Луг.-степн.
254. *Solidago virgaurea* L. – Золотарник обыкновенный – Лесн.
255. *Sonchus oleraceus* L. – Осот огородный – Сорн.
256. *Tanacetum vulgare* L. – Пижма обыкновенная – Луг.
257. *Taraxacum officinale* Wigg. s.l. – Одуванчик лекарственный – Луг.
258. *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) M. Lainz (*Matricaria perforata* Mérat) – Трехреберник продырявленный (ромашка продырявленная) – Сорн.
259. *Tussilago farfara* L. – Мать-и-мачеха обыкновенная – Луг.
260. *Xanthium albinum* (Willd.) H. Scholz – Дурнишник обыкновенный – Сорн.

Класс Liliopsida (Monocotyledones) – Однодольные

Семейство Butomaceae Rich. – Сусаковые

261. *Butomus umbellatus* L. – Сусак зонтичный – Прибр.-водн.

Семейство Melanthiaceae Batsch – Мелантиевые

262. *Veratrum lobelianum* Bernh. – Чемерица белая - Луг.

Семейство Convallariaceae Horan. – Ландышевые

263. *Convallaria majalis* L., – Ландыш майский – Лесн.
264. *Polygonatum multiflorum* (L.) All. – Купена многоцветковая – Лесн.
265. *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce – Купена лекарственная – Степн.

Семейство Trilliaceae Lindl. – Трилистниковые

266. *Paris quadrifolia* L. – Вороний глаз четырехлистный – Лесн.

Семейство Orchidaceae Juss. – Орхидные

267. *Cypripedium guttatum* Sw. – Венерин башмачок пятнистый – Лесн.

Семейство Poaceae Barnhart – Мятликовые

268. *Elytrigia repens* (L.) Nevski – Пырей ползучий – Луг.
269. *Stipa pennata* L. – Ковыль перистый – Луг.-степн.

Семейство Lemnaceae S.F. Gray – Рясковые

270. *Lemna minor* L. – Ряска маленькая – Водн.

Примечание: Ценотические группы: Лесн. – лесные, Луг. – луговые, Степн. – степные, Луг.-степн. – лугово-степные, Луг.-болот. – лугово-болотные, Прибр.-водн. – прибрежно-водные, Скальн. – скальные, Болот. – болотные, Водн. – водные, Сорн. – сорные

Соотношение количественных показателей ценотических групп ЛР, произрастающих на территории национального парка «Башкирия», показано на рисунке.

Такое обилие ЛР объясняется разнообразием ландшафтов. Но несмотря на то, что в геоморфологическом отношении национальный парк входит в район низкогорного рельефа восточной области гор Южного Урала, в парке все же преобладают луговые и лесные ЛР.

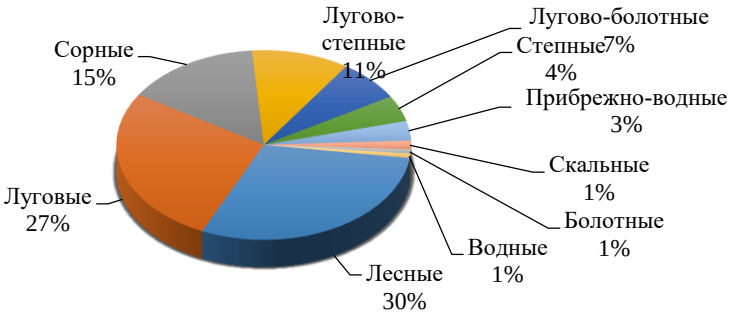


Рис. Соотношение количества произрастающих на территории парка ЛР по ценотическим группам

Таким образом, из 301 вида лекарственных растений Башкортостана на территории национального парка «Башкирия» в настоящее время выявлено 270 видов лекарственных растений, что составляет 90% от всего состава лекарственных растений республики.

Значимость изучения и сохранения видового биоразнообразия растений отображена в статье В.М. Захарова и И.Е. Трофимова «Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития» [8, с. 116]. В дальнейшем необходимо исследовать распространение и оценить запасы лекарственных растений национального парка «Башкирия» для исключения нанесения невосполнимого ущерба флоре и растительности, так как в настоящее время заготовка лекарственных

растений как вид деятельности не лицензируется [6, с. 4]. Кроме того, необходимо оценить внешние факторы, влияющие на популяции ЛР, для разумного использования этих трудновосполняемых биоресурсов [15, с. 154]. Возможно, таковые имеются на еще до конца не изученных нами территориях. Особое внимание требует и изучение мест локализации редких, эндемичных и реликтовых видов на территории национального парка «Башкирия». Входящие в список растения используются в официальной и народной медицине. Информацию о свойствах, сбору и применению лекарственных растений мы не приводим из-за достаточной изученности этих приемов.

До сих пор на территории России выявляют новые места нахождения растений, в том числе и лекарственных, рекомендованных к внесению в Красную книгу [9, с.1286]. Такие обнаруженные ранее виды, как *Rhodiola iremelica* Boriss – родиола иремельская, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench – цмин песчаный, *Cypripedium guttatum* Sw. – венерин башмачок пятнистый, находятся под охраной Красной книги Башкирии, а *Stipa pennata* L. – ковыль перистый включен как в Красную книгу Башкирии [11, с. 10], так и в Красную книгу России [12, с. 23].

Поэтому в перспективе вышеприведенный список ЛР требует серьезной проработки по исключению из него ранее исчезающих видов, восстановивших популяцию, и пополнению новыми, ранее не учтенными видами.

Заключение. В весенне-летний период 2020 г. проведенные исследования позволили дополнить флору высших сосудистых растений НП «Башкирия» и установить наличие в ее составе лекарственных растений, в том числе редких и нуждающихся в охране видов. Выявлено 270 видов лекарственных растений, относящихся к 61 семейству. Удалось определить, что по ценотическим группам большинство лекарственных растений относятся к лесным, луговым и сорным.

Литература

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2014 г. Уфа: МПРиЭ РБ, 2017. 310 с.

2. Мухин В.А. Дикорастущие лекарственные растения Урала. Екатеринбург, 2014. 204 с.

3. Ерохина О.В., Ивченко Т.Г., Пустовалова Л.А. Среднегорные верховые болота западного макросклона Южного Урала (в пределах Челябинской области) // Ботанический журнал. 2020. Т. 105. №11. С. 1075-1092. https://doi.org/10.31857/S0006813620080074

4. Жигунова С.Н. Анализ лекарственной флоры республики Башкортостан // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. №4-1. С. 109-117.

5. Жигунова С.Н., Михайленко О.И., Федоров Н.И. Запасы лекарственных видов растений в широколиственных лесах центральной части Южного Урала // Экобиотех. 2020. Т. 3. №2. С. 276-279. https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-2-276-279

6. Занина М.А., Смирнова Е.Б., Шатаханов Б.Д. Ресурсы лекарственных растений природных урочищ Среднего Прихоперья. Саратов: Саратовский источник. 2020. 130 с.

7. Сайфуллина Н.М. Заповедная страна: научная деятельность европейских ООПТ России. Уфа: Информреклама, 2017. 272 с.

8. Захаров В.М., Трофимов И.Е. Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития // Известия РАН. Серия Биологическая. 2020. №2. С. 115–123. https://doi.org/10.31857/S0002332920020125

9. Золотарева Н.В., Лащинский Н.Н., Королюк А.Ю., Куликов П.В. Находки редких видов сосудистых растений на Южном Урале и в Зауралье // Ботанический журнал. 2014. Т. 99. №11. С. 1283-1293.

10. Кириллова С.А., Герасимова Л.А. Формирование туристского бренда территории (на примере Мелеузовского района) // Проблемы развития территории. 2019. Т. 102. №4. С. 105–117. https://doi.org/10.15838/ptd.2019.4.102.6

11. Красная книга Республики Башкортостан. в 2 т., 2011. Т. 1: Растения и грибы. Уфа. 384 с.

12. Камелин Р.В. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2008. 855 с.

13.Кучеров Е.В., Лазарева Д.Н., Десяткин В.К. Лекарственные растения Башкирии: их использование и охрана. Уфа, 1989. 272 с.

14. Султангареева Л.А. Летопись природы. Национальный парк «Башкирия». Нугуш, 2006. 129 с.

15. Масляков В.Ю. Научно-организационный опыт исследований лекарственных растений во Всероссийском научно-исследовательском институте лекарственных и ароматических растений // Полевой журнал биолога. 2019. Т. 1. №3 С. 150-157. https://doi.org/10.18413/2658-3453-2019-1-3-150-157

16. Алексеев Ю.Е., Галеева А.Х., Губанов И.А. Определитель высших растений Башкирской АССР. М.: Наука, 1989. 375 с.

17. Алексеев Ю.Е., Алексеев Е.Б., Габбасов К.К. Определитель высших растений Башкирской. М.: Наука, 1988. 316 с.

18. Плугатарь Ю.В., Ермаков Н.Б., Крестов П.В., Матвеева Н.В., Мартыненко В.Б. и др. Концепция классификации растительности России как отражение современных задач фитоценологии // Растительность России. 2020. №38. С. 3–12. https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.38.3

19. Серегин А.П., Бочков Д.А., Шнер Ю.В., Гарин Э.В., Майоров С.Р. и др. “Флора России” на платформе iNaturalist: большие данные о биоразнообразии большой страны // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. №3. С. 223–233. https://doi.org/10.31857/S0044459620030070

20. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 990 с.

References

1. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bash-kortostan v 2014 g. (2017). Ufa. (in Russ.).

2. Mukhin, V.A. (2014). Dikorastushchie lekarstvennye rasteniya Urala. Ekaterinburg. (in Russ.).

3. Erokhina, O.V., Ivchenko, T.G., & Pustovalova, L.A. (2020). Srednegornye verkhovye bolota zapadnogo makrosklona Yuzhnogo Urala (v predelakh Chelyabinskoi oblasti). *Botanicheskii zhurnal, 105*(11). 1075-1092. (in Russ.). https://doi.org/10.31857/S0006813620080074

4. Zhigunova, S.N. (2018). Analiz lekarstvennoi Flory respubliki Bashkortostan. *Samarskaya Luka: problemy regional’noi I global’noi ekologii, 27*(4-1). 109-117. (in Russ.).

5. Zhigunova, S.N., Mikhailenko, O.I., & Fedorov, N.I. (2020). Zapasy lekarstvennykh vidov rastenii v shirokolist-vennykh lesakh tsentral’noi chasti Yuzhnogo Urala. *Ekobiotekh, 3*(2). 276-279. (in Russ.). https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-2-276-279

6. Zanina, M.A., Smirnova, E.B., & Shatakhanov, B.D. (2020). Resursy lekarstvennykh rastenii prirodnykh urochishch Srednego Prikhoper’ya. Saratov. (in Russ.).

7. Saifullina, N.M. (2017). Zapovednaya strana: nauchnaya deyatel’nost’ evropeiskikh OOPT Rossii. Ufa. (in Russ.).

8. Zakharov, V.M., & Trofimov, I.E. (2020). Otsenka sostoyaniya bioraznoobraziya: issledovanie stabil’nosti razvi-tiya. *Izvestiya RAN. Seriya Biologicheskaya,* (2). 115–123. (in Russ.). https://doi.org/10.31857/S0002332920020125

9. Zolotareva, N.V., Lashchinskii, N.N., Korolyuk, A.Yu., & Kulikov, P.V. (2014). Nakhodki redkikh vidov sosudistykh rastenii na Yuzhnom Urale I v Zaural’e. *Botanicheskii zhurnal, 99*(11). 1283-1293. (in Russ.).

10. Kirillova, S.A., & Gerasimova, L.A. (2019). Formirovanie turistskogo Brenda territorii (na primere Mele-uzovskogo raiona). *Problemy razvitiya territorii, 102*(4). 105–117. (in Russ.). https://doi.org/10.15838/ptd.2019.4.102.6

11. Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan (2011). 1: Rasteniya I griby. Ufa. (in Russ.).

12. Kamelin, R.V. (2008). Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya I griby). Moscow. (in Russ.).

13. Kucherov, E.V., Lazareva, D.N., & Desyatkin, V.K. (1989). Lekarstvennye rasteniya Bashkirii: ikh ispol’zovanie I okhrana. Ufa. (in Russ.).

14. Sultangareeva, L.A. (2006). Letopis’ prirody. Natsional’nyi park “Bashkiriya”. Nugush. (in Russ.).

15. Maslyakov, V.Yu. (2019). Nauchno-organizatsionnyi opyt issledovanii lekarstvennykh rastenii vo Vseros-siiskom nauchno-issledovatel’skom institute lekarstvennykh I aromaticheskikh rastenii. *Polevoi zhurnal biologa, 1*(3). 150-157. (in Russ.). https://doi.org/10.18413/2658-3453-2019-1-3-150-157

16. Alekseev, Yu.E., Galeeva, A.Kh., & Gubanov, I.A. (1989). Opredelitel’ vysshikh rastenii Bashkirskoi ASSR. Moscow. (in Russ.).

17. Alekseev, Yu.E., Alekseev, E.B., & Gabbasov, K.K. (1988). Opredelitel’ vysshikh rastenii Bashkirskoi. Moscow. (in Russ.).

18. Plugatar’, Yu.V., Ermakov, N.B., Krestov, P.V., Matveeva, N.V., & Martynenko, V.B. and etc. (2020). Kontseptsiya klas-sifikatsii rastitel’nosti Rossii kak otrazhenie sovremennykh zadach fitotsenologii. *Rastitel’nost’ Rossii,* (38). 3–12. (in Russ.). https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.38.3

19. Seregin, A.P., Bochkov, D.A., Shner, Yu.V., Garin, E.V., & Maiorov, S.R. and etc. (2020). “Flora Rossii” na platforme iNaturalist: bol’shie dannye o bioraznoobrazii bol’shoi strany. *Zhurnal obshchei biologii, 81*(3). 223–233. (in Russ.). https://doi.org/10.31857/S0044459620030070

20. Cherepanov, S.K. (1995). Sosudistye rasteniya Rossii I sopredel’nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR). St. Petersburg. (in Russ.).

Шестак П.С., Чаус Б.Ю., Султангареева Л.А. Ресурсы лекарственных растений национального парка «Башкирии» республики Башкортостан // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 40-47. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/05

Shestak, P.S., Chaus, B.Y. & Sultangareeva, L.A. (2021). Resources of Medicinal Plants of the National Park “Bashkiria” of the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 40-47. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/05

дата поступления: 11.11.2020 дата принятия: 12.02.2021

УДК 574.24: 615.322
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06

Дьякова Н.А.

АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА ТРАВОЙ *LEONURUS QUINQUELOBATUS* GILIB.

Dyakova N.A.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND ARSENIC IN GRASS *LEONURUS QUINQUELOBATUM* GILIB.

Аннотация: Воронежская область традиционно является важнейшим районом растениеводства и земледелия. Целью исследования являлось изучение загрязнения тяжелыми металлами лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере травы пустырника пятилопастного, собранного в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Изучалось накопление тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома) и мышьяка в 51 образце травы пустырника пятилопастного. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и данные по содержанию этих элементов в траве пустырника пятилопастного, можно предположить наличие значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов в генеративных органах растения, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Пустырник пятилопастной способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (такие как медь и цинк), в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при значительном же содержании данных элементов в почвах, растение также физиологически блокировало их поступление в листья. Таким образом, у пустырника пятилопастного в условиях антропогенной нагрузки и техногенного загрязнения внешней средыв результате действия отбора и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование эдафотипа. Результаты исследований показали, что трава пустырника пятилопастного способна накапливать токсические элементы из почв, что важно при планировании мест заготовки лекарственного растительного сырья и оценке его качества.

Ключевые слова: Воронежская область; трава пустырника пятилопастного; свинец; ртуть; кадмий; никель; медь; цинк; кобальт; хром.

Сведения об авторе: Дьякова Нина Алексеевна, ORCID: 0000-0002-0766-3881, канд. биол. наук, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия, Ninochka_V89@mail.ru

Annotation. The Voronezh region is traditionally the most important area of crop production and farming. The purpose of the study was to study the contamination by heavy metals of medicinal vegetable raw materials of the Voronezh region on the example of the grass of the five-plant desert collected in urban and agro-ecological systems, which experience different anthropogenic effects. The accumulations of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chromium) and arsenic were studied, in 51 samples of five-layer desert grass. Comparing the data on heavy metal content in the upper soil layers of the region and the content of these elements in the grass of the five-layer desert, it can be assumed that there are significant physiological barriers to the accumulation of ecotoxicants in the generative organs of the plant, which is particularly noticeable for elements such as lead, mercury, arsenic, cadmium, cobalt and chromium. The five-point desert is able to selectively concentrate some heavy metals entering the active centers of enzyme systems (such as copper and zinc) if their environmental content is below some vital level; With a significant content of these elements in soils, the plant also physiologically blocked their entry into the leaves. Thus, for a five-layer desert under anthropogenic load conditions, an edaphotype is formed as a result of the action of selection under conditions of man-made pollution of the external environment and the manifestation of adaptation to these conditions. The results of studies have shown that the grass of the five-plant desert is able to accumulate toxic elements from soils, which is important in planning the places of production of medicinal vegetable raw materials and assessing its quality.

Keywords: Voronezh region; grass of a motherwort five-bladed; lead; mercury; cadmium; nickel; copper; zinc; cobalt; chrome.

About the author: Dyakova Nina Alekseevna, ORCID: 0000-0002-0766-3881, Ph.D., Voronezh State University, Voronezh, Russia, Ninochka_V89@mail.ru

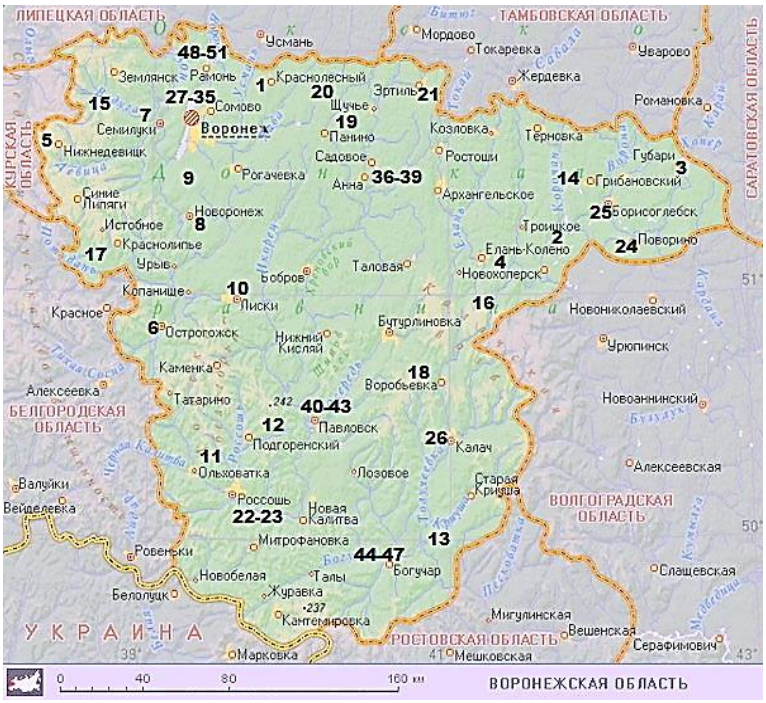
Введение. На сегодняшний день в медицинской и фармацевтической практике нашей страны применяется более 6 тысяч лекарственных препаратов на основе лекарственного растительного сырья. Значительный интерес к таким лекарственным средствам объясняется тем, что фитопрепараты обладают хорошим терапевтическим эффектом и относительной безвредностью [4; 20]. Большая доля заготовок фитосырья расположена в европейской части Российской Федерации, отличающейся значительной плотностью населения, высокой активностью хозяйственной деятельности, развитием транспортных магистралей [4; 15; 16]. В связи с этим увеличивается угроза сбора растительного сырья

в экологически неблагоприятных районах, и возрастает актуальность выявления влияния антропогенного загрязнения на химический состав растений [1; 5].

Одним из синантропных видов, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей, является пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib. (*Lamiaceae*)) – многолетнее, повсеместно встречающееся травянистое растение, широко используемое в медицине и фармации в качестве седативного, гипотензивного, спазмолитического, кровоостанавливающего, мочегонного средства. Такое широкое применение обусловлено богатым химическим составом травы пустырника пятилопастного, основу которого составляют флавоноиды, иридоиды, алкалоиды (до 0,4%), эфирное масло (до 0,9%), дубильные вещества (до 2,5%), горечи, витамин С, каротин, макро- и микроэлементы. При этом пустырник пятилопастной благодаря хорошо развитой разветвленной корневой системе хорошо накапливает фосфор, медь, цинк. По этой же причине данное растение иногда используют для очистки почв от тяжелых металлов [6; 23–25]. *Цель исследования* – изучение загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере травы пустырника пятилопастного, собранного в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие.

Материалы и методы исследования. Сбор лекарственного растительного сырья проводили согласно требованиям по заготовке: в период цветения пустырника пятилопастного, в сухую, солнечную погоду, срезая растение секатором на расстоянии 30–40 см от его верхушки.

Выбор точек для сбора образцов на территории Воронежской области обусловлен особенностями воздействия человека (рис., табл.).



Химические промышленные предприятия (23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); атомная электростанция (АЭС) в г. Нововоронеж (8); международный аэропорт им. Петра I (30); ул. г. Воронежа (ул. Димитрова) (31); высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ) (9); Воронежское водохранилище (29); малые города (г. Борисоглебск (25), г. Калач (26); зона значительного месторождения никелевых руд (4); районы, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС (5-7); районы активного ведения сельского хозяйства (10-22); контроль (для сравнения) – заповедные территории (1,2,3)). Вдоль дорог: лесная зона (32) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (33) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (34) – трасса М4 «Дон», проселочная автомобильная дорогая малой загруженности (35) и железная дорога (36)

Рис. Карта отбора образцов

Анализ образцов травы пустырника пятилопастного проводился на аналитическом комплексе на базе атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД по фармакопейным методикам [2]. Каждое определение проводили троекратно. Данные, полученные в ходе исследований, статистически обрабатывали в программе «Microsoft Excel». В образцах определяли концентрацию наиболее токсичных элементов: свинца, мышьяка, ртути, кадмия, никеля, цинка, кобальта, хрома и меди.

Результаты исследования и их обсуждение. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в отобранных образцах травы пустырника пятилопастного представлено в таблице.

Концентрация свинца во всех образцах травы пустырника пятилопастного не превышала установленный фармакопейной статьей числовой показатель (6 мг/кг). Концентрация данного металла в сырье, собранном на контрольных территориях, варьировала от 0,17 мг/кг до 0,34 мг/кг, при этом в остальном сырье, произрастающем в условиях антропогенного воздействия, содержание металла колебалось от 0,17 мг/кг (для образца, собранного в Ольховатском районе) до 2,59 мг/кг (для образца,

собранного на улице Воронежа). Концентрация элемента в почвах районов, в которых производился сбор образцов, отмечена на уровне от 1,71 до 34,57 мг/кг [3]. Достаточно низкое накопление свинца в надземной части пустырника пятилопастного можно связать с тем, что соединения его малорастворимы, это может ограничивать его биодоступность для растения. Кроме того, можно предположить наличие физиологического барьера в растении, препятствующего накоплению данного фитотоксиканта, вызывающего в большом количестве выраженное ингибирование процессов роста и развития растения [7; 12; 14]. Стоит также отметить, что для агробиоценозов отмечены менее значительные концентрации свинца в траве пустырника пятилопастного (0,17–0,42 мг/кг), для урбобиоценозов – более значительные. Так, наибольшие концентрации свинца (более 1,0 мг/кг) отмечены для образцов, собранных вблизи химических предприятий (ООО «Сибур», ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), на улице города Воронежа, вдоль и на удалении 100 м от трассы М4 в Рамонском районе (лесная зона), вдоль и на удалении 200 м от трасс А144 в Аннинском районе (лесостепная зона) и М4 в Павловском районе (степная зона), вдоль железной дороги. В связи с этим можно предположить значительное аэрозольное загрязнение свинцом травы пустырника пятилопастного, собранного в урбобиоценозах (вероятно, от выхлопных газов транспорта, выбросов промышленных предприятий) [13; 19; 21; 22].

Таблица

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах травы пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.)

Место заготовки сырья	Концентрация тяжелых металлов, мг/ кг								
	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Воронежский природный биосферный заповедник	0,20	0,004	0,03	0,16	1,45	0,29	0,55	6,23	22,98
Хоперский государственный природный заповедник	0,34	0,003	0,02	0,11	3,19	0,44	0,62	8,32	27,92
с. Макашевка (Борисоглебский район)	0,17	0,002	0,03	0,10	1,31	0,26	0,48	7,67	32,65
с. Елань-Колено	0,28	0,003	0,02	0,12	2,81	0,52	0,52	9,45	28,07
с. Нижнедевицк	0,53	0,004	0,07	0,11	1,27	0,72	0,61	11,23	30,80
г. Острогожск	0,52	0,004	0,03	0,17	3,85	1,08	0,59	12,04	39,63
г. Семилуки	0,47	0,004	0,04	0,20	3,25	1,20	0,63	12,15	41,85
г. Нововоронеж	0,23	0,002	0,02	0,15	1,74	0,57	0,56	7,30	27,10
Высоковольтные линии электропередач	0,40	0,003	0,06	0,23	4,27	1,15	0,67	12,74	47,47
Лискинский район	0,32	0,003	0,08	0,12	1,04	0,61	0,72	10,53	21,97
Ольховатский район	0,17	0,003	0,02	0,17	3,62	0,89	0,54	9,62	32,64
Подгоренский район	0,23	0,005	0,04	0,18	4,01	0,53	0,65	15,04	29,85
Петропавловский район	0,38	0,003	0,03	0,12	1,16	0,72	0,83	11,96	34,70
Грибановский район	0,32	0,004	0,02	0,25	3,61	0,59	0,43	14,04	38,20
Хохольский район	0,28	0,003	0,06	0,15	2,83	0,31	0,60	13,29	38,25
Новохоперский район	0,30	0,003	0,03	0,21	3,18	0,27	0,57	11,05	29,00
Репьевский район	0,36	0,003	0,05	0,19	3,74	0,57	0,84	12,28	35,17
Воробьевский район	0,26	0,004	0,02	0,11	3,85	0,40	0,67	9,17	27,15
Панинский район	0,30	0,005	0,08	0,21	3,97	0,66	0,58	12,27	43,09
Верхнехавский район	0,42	0,005	0,07	0,23	2,56	0,85	0,54	15,85	34,52
г. Эртиль	0,28	0,003	0,04	0,13	3,41	0,61	0,76	12,00	42,80
Россошанский район	0,25	0,004	0,06	0,25	3,28	0,77	0,80	16,75	40,50
Вблизи ОАО «Минудобрения»	1,45	0,005	0,35	0,37	4,58	3,52	1,36	19,63	87,87
Вблизи ООО «Бормаш»	1,05	0,005	0,41	0,46	8,46	2,78	1,52	21,50	65,75
г. Борисоглебск	0,87	0,004	0,29	0,23	5,22	2,13	0,85	18,42	62,03
г. Калач	0,72	0,005	0,10	0,20	5,45	4,05	0,78	14,80	57,20
Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС»	1,24	0,005	0,13	**0,53**	3,56	3,16	0,95	17,52	63,18
Вблизи ООО «Сибур»	1,56	0,005	0,16	0,26	5,20	3,68	1,03	18,35	80,27

Место заготовки сырья	Концентрация тяжелых металлов, мг/ кг								
	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Вдоль Воронежского вдхр.	0,27	0,004	0,07	0,24	4,17	0,71	0,77	9,53	35,48
Аэропорт им. Петра I	0,83	0,004	0,04	0,39	5,50	1,06	0,65	12,08	30,07
Улица г. Воронеж (ул. Димитрова)	2,59	0,006	0,36	0,32	5,91	4,51	2,29	22,07	89,42
Вдоль трассы М4 (Рамонский район)	2,15	0,005	0,48	0,32	6,43	3,61	1,84	25,86	78,01
100 м от трассы М4 (Рамонский район)	1,75	0,005	0,35	0,24	5,12	1,41	1,02	18,21	57,21
200 м от трассы М4 (Рамонский район)	0,98	0,005	0,11	0,20	4,42	0,81	0,83	14,28	39,53
300 м от трассы М4 (Рамонский район)	0,40	0,004	0,07	0,20	3,10	0,64	0,67	13,08	35,05
Вдоль трассы А144	1,89	0,003	0,27	0,23	6,65	2,55	1,69	23,09	63,06
100 м от трассы А144	1,63	0,004	0,14	0,20	6,08	1,82	1,42	19,57	53,37
200 м от трассы А144	1,06	0,004	0,09	0,15	4,35	1,91	0,74	14,11	52,81
300 м от трассы А144	0,33	0,004	0,10	0,14	3,28	0,85	0,54	12,65	41,07
Вдоль трассы М4 (Павловский район)	2,24	0,005	0,21	0,17	6,35	2,21	1,43	24,16	59,35
100 м от трассы М4 (Павловский район)	1,84	0,005	0,16	0,15	4,08	1,95	1,20	20,55	52,17
200 м от трассы М4 (Павловский район)	1,32	0,005	0,08	0,12	3,32	1,36	0,98	18,39	49,28
300 м от трассы М4 (Павловский район)	0,90	0,005	0,08	0,11	3,08	0,97	0,71	12,91	35,17
Вдоль нескоростной дороги	0,92	0,005	0,07	0,26	3,86	0,91	0,83	15,53	58,38
100 м от нескоростной дороги	0,57	0,004	0,05	0,20	3,45	0,72	0,64	12,05	41,85
200 м от нескоростной дороги	0,39	0,003	0,02	0,16	3,05	0,69	0,63	10,49	36,14
300 м нескоростной дороги	0,41	0,004	0,02	0,11	2,45	0,52	0,67	11,59	39,18
Вдоль железной дороги	1,76	0,005	0,15	0,34	5,45	1,53	0,91	27,37	67,30
100 м от железной дороги	0,64	0,005	0,06	0,27	4,65	1,31	0,73	23,90	51,34
200 м от железной дороги	0,50	0,004	0,05	0,23	4,25	0,83	0,65	12,21	44,75
300 м от железной дороги	0,50	0,004	0,06	0,19	3,36	0,65	0,67	14,25	38,39
Среднее значение	0,78	0,004	0,11	0,21	3,89	1,31	0,84	14,69	45,31
ПДК	6,0	0,1	1,0	0,5	-				

Содержание ртути в образцах травы пустырника пятилопастного варьировало от 0,002 мг/кг до 0,006 мг/кг, при установленной предельно допустимой концентрации в лекарственном растительном сырье 0,1 мг/кг. Концентрация данного металла в образцах, собранных в заповедных зонах, практически не отличалась от его концентрации в образцах, произрастающих в условиях агро- и урбобиоценозов. При этом содержание ртути в почвах исследуемых районов в десятки раз больше – от от 0,01 до 0,24 мг/кг [3]. Известно, что в почве ртуть образует малорастворимые соединения, которые достаточно прочно удерживаются почвенными коллоидами. Также низкое содержание фитотоксичной ртути в лекарственном растительном сырье можно связать с наличием в растениях действующей системы инактивации токсикантов [7; 8; 12].

Содержание кадмия в траве пустырника пятилопастного, собранного на территории Воронежской области, колебалась от 0,02 мг/кг до 0,48 мг/кг при среднем содержании 0,11 мг/кг, что в 9 раз меньше его предельно допустимой концентрации в растительном сырье (1,0 мг/кг). Концентрация кадмия в изучаемом сырье пустырника пятилопастного также значительно меньше содержания элемента в почве (0,02–0,71 мг/кг) [3]. Концентрация данного металла в траве пустырника пятилопастного заповедных зон находилась на уровне 0,02–0,03 мг/кг, в образцах, собранных в агробиоценозах Воронежской области, – 0,02-0,08 мг/кг. Более высокие концентрации вновь отмечены в образцах пустырника пятилопастного, произрастающего в урбоценозах – вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), в крупных городах области (Воронеж, Борисоглебск), вдоль и вблизи автотрасс (М4, А144), вдоль железной дороги. Объяснить низкий уровень накопления кадмия, являющегося главным блокатором основных ферментных и антиоксидантных систем в растении, можно тем, что у пустырника пятилопастного в процессе эволюции выработался механизм физиологической регулировки всасывания и проведения соединений данного металла по тканям и органам растения, что является основой их выживания в условиях техногенного загрязнения окружающей среды данным элементом. При этом более высокие

концентрации кадмия в образцах, собранных в урбоценозах, можно связать с аэрозольным загрязнением надземной части растения токсичным металлом [7; 9; 11; 19; 29; 30].

Концентрацию мышьяка в траве пустырника пятилопастного можно оценить, как высокую. Так, в 1 образце из 51 превышена предельно допустимая концентрация элемента, установленная фармакопейной статьей, в 0,5 мг/кг (в образцах, собранных вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС). Средняя же концентрация элемента в траве пустырника пятилопастного составила 0,21 мг/кг и варьировала от 0,11 мг/кг до 0,53 мг/кг. Концентрация мышьяка в верхних слоях почв исследуемых районов гораздо значительнее – от 0,55 мг/кг до 3,81 мг/кг [3]. Известно, что соединения мышьяка обладают низкой растворимостью и подвижностью в почве, что связано с их сорбцией на поверхности органическими и минеральными коллоидами, поэтому мышьяк – малодоступный для растений элемент. С увеличением содержания его соединений в почве возможно развитие токсического действия на растительные организмы: увядание листьев, замедление темпов роста. Поэтому можно предположить наличие у пустырника пятилопастного биохимических механизмов, препятствующих накоплению мышьяка [5; 7; 13; 14].

Средний уровень содержания никеля в траве пустырника пятилопастного оценивается в 3,89 мг/кг при колебании его от 1,04 мг/кг (для образца, собранного в Лискинском районе) до 8,46 мг/кг (для образца, собранного вблизи ООО «БорМаш» в Поворинском районе). Предельно допустимая концентрация никеля так же, как и хрома, кобальта, меди и цинка, определяемых в исследуемых образцах, в лекарственном растительном сырье в настоящее время не нормируется, хотя широко известно об их токсическом действии на живые организмы. Концентрация никеля в почвах изучаемых территорий принимала значения от 2,23 мг/кг до 98,25 мг/кг [3]. Сопоставляя полученные данные, заметно, что данный элемент также незначительно накапливается в надземной части пустырника пятилопастного, хотя соли никеля находятся преимущественно в растворенном состоянии в почвенном растворе. Известно, что в значительных концентрациях никель оказывает токсическое действие на растительный организм, способствует угнетению процессов фотосинтеза и транспирации. Вероятно, у пустырника пятилопастного выработался физиологический барьер к накоплению никеля в высоких концентрациях. Для образцов травы пустырника пятилопастного, произрастающего в условиях заповедных территорий, отмечено накопление металла на уровне 1,31–3,19 мг/кг. Образцы, произрастающие в условиях агробиоценозов, содержали 1,04–4,01 мг/кг никеля. Более высокое содержание металла (более 5 мг/кг) отмечено в образцах, собранных в урбобиоценозах с активной хозяйственной деятельностью человека – вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш», ООО «Сибур»), на улице городов (Воронеж, Калач, Борисоглебск), вдоль и вблизи автотрасс (М4, А144), вдоль железной дороги, что, вероятно, связано со значительным вкладом аэрозольного загрязнения лекарственного растительного сырья никелем [7; 17; 18; 21; 22; 28].

Содержание хрома в изучаемых образцах травы пустырника пятилопастного варьировало от 0,29 мг/кг (для образца, отобранного в Воронежском природном биосферном заповеднике) до 4,51 мг/кг (для образца, отобранного на улице города Воронежа) при среднем значении 1,31 мг/кг. Концентрация хрома в верхних слоях почв рассматриваемых территорий принимала значения от 2,53 мг/кг до 45,16 мг/кг [3]. Фитотоксичность хрома проявляется в повреждении корней растения, а также увядании его надземной части, хлорозе молодых листьев. Очевидно, что накопление данного металла блокируется растением на биохимическом уровне, что является его эволюционно выработанным приспособлением к жизни в условиях загрязнения среды обитания. При анализе полученных результатов также отмечаются значительно более низкие концентрации хрома в образцах травы пустырника пятилопастного, собранного на контрольных территориях (в заповедниках) – от 0,26 мг/кг до 0,44 мг/кг, и в агробиоценозах – от 0,31 мг/кг до 0,89 мг/кг. В урбобиоценозах концентрация хрома в надземной части пустырника пятилопастно значительнее (от 0,65 мг/кг до 4,51 мг/кг) [8; 19; 26; 27].

Средняя концентрация кобальта и его уровень накопления в траве пустырника пятилопастного еще более низкие, чем для хрома. Так, содержание кобальта в изучаемых образцах варьировало от 0,52 мг/кг (для образца, отобранного в Борисоглебском районе) до 2,29 мг/кг (для образца, собранного на улице города Воронежа) при среднем уровне накопления в сырье Воронежской области – 0,84 мг/кг. Концентрация его в верхних слоях почв характеризуется значениями от 1,84 мг/кг до 21,78 мг/кг [3], что свидетельствует о низком уровне накопления кобальта травой пустырника пятилопастного. В образцах контрольных территорий и агробиоценозов также отмечены более низкие уровни концентраций данного металла, чем для образцов урбанизированных территорий, что может доказывать дополнительное аэрозольное загрязнение сырья [7; 8; 17; 18].

Проведенные анализы показали, что трава пустырника пятилопастного в значительной степени накапливает медь и цинк. Так, концентрация меди варьировала от 6,23 мг/кг (для образца, отобранного

в Воронежском биосферном заповеднике) до 25,86 мг/кг (для образца, собранного вблизи ООО «БорМаш» в с. Пески Поворинского района) при среднем содержании в регионе 14,69 мг/кг. Содержание меди в верхних слоях почв изучаемых территорий изменялось от 3,30 мг/кг до 65,38 мг/кг при среднем 23,25 мг/кг [3]. При этом для ряда образцов отмечена более высокая концентрация меди в сырье, чем в почве, на которой оно произрастало (например, для травы пустырника пятилопастного, собранного на всех контрольных территориях (в заповедных зонах), в с. Елань-Колено, в Нововоронеже, в Репьевском, Ольховатском, Панинском районах, вдоль низовья Воронежского водохранилища, вдоль высоковольтных линий электропередач). Это указывает на значительную концентрирующую способность надземной части пустырника пятилопастного в отношении меди, которая, по-видимому, играет важную физилогическую роль в растительном организме. Известно, что медь участвует в процессе фотосинтеза, активизирует углеводный и азотный обмены, повышает сопротивляемость растительного организма к инфекционным заболеваниям, увеличивает засухоустойчивость. Однако при высоком содержании меди в почвах некоторых урбанизированных территорий (вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), на улице города Воронежа, вдоль и вблизи крупных автомобильных дорог (М4, А144), вдоль железной дороги) содержание элемента в растении гораздо ниже, что говорит о накоплении данного металла в пустырнике пятилопастном до какого-то физиологически важного уровня, а далее его концентрирование растением блокируется. Объяснить это можно тем, что высокие концентрации меди могут вызывать дефицит железа в растительном организме, появление бурых пятен на листьях и их отмирание [7; 8; 10–12].

Концентрация цинка в изучаемых образцах травы пустырника пятилопастного принимала значения от 21,97 мг/кг (для образца, отобранного в Лискинском районе) до 89,42 мг/кг (для образца, собранного на улице города Воронежа) и в среднем составила 45,31 мг/кг. Сопоставляя полученные результаты с данными по почвам (содержание цинка варьировало от 9,58 мг/кг до 154,45 мг/кг при среднем значении по региону 52,69 мг/кг) [3], можно отметить значительное накопление элемента в сырье. Например, для образцов травы пустырника пятилопастного, собранного на контрольных (заповедных) территориях в Нижнедевицком, Лискинском, Подгоренском, Петропавловском, Грибановском, Новохоперском, Воробьевском, Россошанском, Репьевском, Верхнехавском районах, в с. Елань-Колено, г. Нововоронеж, вблизи аэропорта, вдоль и на удалении 300 м от нескоростной атомобильной дороги в Богучарском районе, содержание цинка в растительном сырье выше, чем в почве, на которой оно выросло. Это связано со значительной физиологической потребностью растения в данном элементе. Так, цинк активирует более 300 ферментов, участвует в образовании хлорофилла, является составной частью более 40 ферментов, активизирует метаболизм углеводов, протеинов, фосфатов, повышает устойчивость к патогенам, жаро- и засухоустойчивость. Но при значительном содержании цинка в верхних слоях почв урбоценозов (на улицах крупных городов с развитой хозяйственной деятельностью человека (Калач, Борисоглебск, Воронеж, вблизи крупных авто- и железных дорог, промышленных предприятий), в растении металл накапливается в меньшей степени, что вероятно связано с токсическим действием его избытка в растительном организме [5; 7; 8; 29; 30].

Выводы. Были проанализированы свыше 50 образцов травы пустырника пятилопастного, собранной в различных по уровню антропогенного воздействия районах Воронежской области, на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и данные по содержанию этих элементов в траве пустырника пятилопастного, можно утверждать о наличии значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов в растении, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Оказалось, пустырник пятилопастной способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (например, медь и цинк), в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при значительном же содержании данных элементов в почвах, растение также физиологически блокировало их поступление в надземную часть растения. На основании этого можно предполагать, что у пустырника пятилопастного в условиях антропогенной нагрузки и техногенного загрязнения внешней среды в результате действия отбора и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование эдафотипа. Результаты исследований показали, что возможно значительное загрязнение данного сырья аэрозольным путем (в частности, свинцом, кадмием, никелем, хромом, кобальтом), что важно учитывать при планировании мест заготовки данного лекарственного растительного сырья и оценке его качества.

Литература

1. Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет российских городов // Экология и промышленность России. 2011. №2. С. 6–11.

2. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 2. М.: ФЭМБ; 2018. 1423 с.

3. Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИрГСХА. 2019. №95. С. 19-30.

4. Дьякова Н.А. Экологическая оценка лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере цветков пижмы обыкновенной // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 1. С. 19–26. https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/04

5. Зайцева М.В., Кравченко А.Л., Стекольников Ю.А., Сотников В.А. Тяжелые металлы в системе почва-растение в условиях загрязнения // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2013. №3. С. 190-192.

6. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара: Офорт, 2004. С. 465-469.

7. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Шайхутдинова А.А. Некоторые аспекты адаптации Polygonum aviculare L. к загрязнению почвы тяжелыми металлами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (33). С. 230-234.

8. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-3. С. 681-686.

9. Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание кадмия в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник КрасГАУ. 2017. №3 (126). С .105-113.

10. Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание меди в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. №3 (23). С. 100-107.

11. Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание цинка, меди и кадмия в различных видах лекарственных растений, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. №1(42). С. 84-92.

12. Семенова И.Н., Сингизова Г.Ш., Зулкаранаев А.Б., Ильбулова Г.Ш. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *Anethum graveolens* L. // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 588-588.

13. Таирова А.Р., Кузнецов А.И. Химические элементы в биосфере // Международный журнал экспериментального образования. 2010. № 10. С. 116.

14. Шигабаева Г.Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени. Вестник Тюменского государственного университета // Экология и природопользование. 2015. № 1 (2). С. 92-102.

15. Alekseenko V., Alekseenko Al. The abundances of chemical elements in urban soils // Journal of Geochemical Exploration. 2014. №147. 245–249. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003

16. Alekseenko V.A., Laverov N.P., Alekseenko A.V. The Clarke numbers of chemical elements in the urban landscapes soils // Ecologica – Scientific Professional Society for Environmental Protection of Serbia. Belgrade. 2012. № 65. 3–9.

17. Austenfeld F.A. Zur Phytotoxizität von Nickel-und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei Phaseolus vulgaris L // Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde. 1979. Vol. 142. № 6. P. 786-791. https://doi.org/10.1002/jpln.19791420604

18. Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T. Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun // Poland Polish Journal of Environmental Studies. 2000. Vol. 9. № 6. P. 511–515.

19. Cataldo D.A., Wildung R.E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants // Environmental Health Perspectives. 1978. Vol. 27. P. 149-159. https://doi.org/10.1289/ehp.7827149

20. D'yakova N.A., Samylina I.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A. Estimated heavy-metal and arsenic contents in medicinal plant raw materials of the Voronezh region // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2018. Vol. 52. № 3. P. 220-223. https://doi.org/10.1007/s11094-018-1797-2

21. Gupta G.P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U.C. Deposition and impact of urban atmospheric dust on two medicinal plants during different seasons in NCR Delhi // Aerosol and Air Quality Research. 2016. Vol. 16. № 11. P. 2920-2932. https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0272

22. Rai A., Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants // International journal of food, agriculture and environment (Print). 2006. Vol. 4. № 1. P. 253-259.

23. Romanenko Y.A., Koshovyi O.M., Komissarenko A.M., Golembiovska O.I., Gladyish Y.I. The study of the chemical composition of the components of the motherwort herb // Вісник фармації. 2018. №3. P. 34-38. https://doi.org/10.24959/nphj.18.2222

24. Romanenko Y.A., Koshovyi O.M., Kovalyova A.M., Ilyina T.V., Komissarenko A.M. Дослідження динаміки екстракції БАР трави собачої кропиви для одержання настойки //Український біофармацевтичний журнал. 2018. №3(56). P. 66-71. https://doi.org/10.24959/ubphj.18.185

25. Esirgapovich S.J., Abduvahitovna S.S., Toshkhodjayevich D.G. Isothermal medicinal herbal motherwort (Leonurus cardiaca) and mother and stepmother (Tussilago) // European research. 2017. №3 (26). P. 16-17. https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R

26. Schutzendubel A., Polle A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization // Journal of experimental botany. 2002. Vol. 53. №372. P. 1351-1365. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1351

27. Sharma D. C., Chatterjee C., Sharma C. P. Chromium accumulation and its effects on wheat (Triticum aestivum L. cv. HD 2204) metabolism // Plant Science. 1995. Vol. 111. №2. P. 145-151. https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R

28. Speak A.F. et al. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 61. P. 283-293. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043

29. Wang H., Shi H., Li Y. Leaf dust capturing capacity of urban greening plant species in relation to leaf micromorphology // 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. IEEE, 2011. Vol. 3. P. 2198-2201. https://doi.org/10.1109/ISWREP.2011.5893701

30. Wang L., Gong H., Liao W., Wang Z. Accumulation of particles on the surface of leaves during leaf expansion // Science of the Total Environment. 2015. Vol. 532. P. 420-434. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.014

References

1. Bityukova, V.R., Kasimov, N.S., & Vlasov, D.V. (2011). Ekologicheskii portret rossiiskikh gorodov. *Ekologiya I promyshlennost' Rossii,* (2). 6–11. (In Russ.).

2. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii (2018). Izdanie XIV. 2. Moscow. (In Russ.).

3. D'yakova, N.A. (2019). Otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami verkhnikh sloev pochv urbo- I agroekosistem Tsentral'nogo Chernozem'ya. *Vestnik IrGSKhA,* (95). 19-30. (In Russ.).

4. Dyakova, N. A. (2020). Ecological assessment of medicinal vegetable raw materials of the Voronezh region on the example of flowers of a tansy ordinary. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University,* (1). 19–26. (In Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/04

5. Zaitseva, M.V., Kravchenko, A.L., Stekol'nikov, Yu.A., & Sotnikov, V.A. (2013). Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie v usloviyakh zagryazneniya. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie I meditsinskie nauki,* (3). 190-192. (In Russ.).

6. Kurkin, V.A. (2004). Farmakognoziya. Samara. 465-469. (In Russ.).

7. Nemereshina, O.N., Gusev, N.F., Petrova, G.V., & Shaikhutdinova, A.A. (2012). Nekotorye aspekty adaptatsii Po-lygonum aviculare L. k zagryazneniyu pochvy tyazhelymi metallami. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* (1(33)). 230-234. (In Russ.).

8. Osipova, N.A., Yazikov, E.G., & Yankovich, E.P. (2013). Tyazhelye metally v pochve I ovoshchakh kak 55reten riska dlya zdo-rov'ya cheloveka. *Fundamental'nye issledovaniya,* (8-3). 681-686. (In Russ.).

9. Popp, Ya.I., & Bokova, T.I. (2017). Soderzhanie kadmiya v lekarstvennykh rasteniyakh, proizrastayushchikh v poimakh rek Irtysha I Obi. *Vestnik KrasGAU,* (3(126)). 105-113. (In Russ.).

10. Popp, Ya.I., & Bokova, T.I. (2016). Soderzhanie medi v lekarstvennykh rasteniyakh, proizrastayushchikh v poimakh rek Irtysha I Obi. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* (3(23)). 100-107. (In Russ.).

11. Popp, Ya.I., & Bokova, T.I. (2017). Soderzhanie tsinka, medi I kadmiya v razlichnykh vidakh lekarstvennykh raste-nii, proizrastayushchikh v poimakh rek Irtysha I Obi. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 1(42). 84-92. (In Russ.).

12. Semenova, I.N., Singizova, G.Sh., Zulkaranaev, A.B., & Il'bulova, G.Sh. (2015). Vliyanie medi I svintsa na rost I razvitie rastenii na primere *Anethum graveolens* L. *Sovremennye problemy nauki I obrazovaniya,* (3). 588-588. (In Russ.).

13. Tairova, A.R., & Kuznetsov, A.I. (2010). Khimicheskie elementy v biosfere. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya,* (10). 116. (In Russ.).

14. Shigabaeva, G.N. (2015). Tyazhelye metally v pochvakh nekotorykh raionov g. Tyumeni. Vestnik Tyumenskogo gos-udarstvennogo universiteta. *Ekologiya I prirodopol'zovanie, 1*(2). 92-102. (In Russ.).

15. Alekseenko, V., & Alekseenko, A. (2014). The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration, 147,* 245-249. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003

16. Alekseenko, V. A. (2012). The Clarke numbers of chemical elements in the urban landscapes soils. *Ecologica,* (65), 3-9.

17. Austenfeld, F. A. (1979). Zur Phytotoxizität von Nickel-und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei Phaseolus vulgaris L. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, *142*(6), 786-791. https://doi.org/10.1002/jpln.19791420604

18. Buszewski, B., Jastrzębska, A., Kowalkowski, T., & Górna-Binkul, A. (2000). Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soils in the area of Toruń, Poland. *Pol. J. Environ. Stud*, *9*(6), 511-515.

19. Cataldo, D. A., & Wildung, R. E. (1978). Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environmental Health Perspectives, 27,* 149-159. https://doi.org/10.1289/ehp.7827149

20. D'yakova, N. A., Samylina, I. A., Slivkin, A. I., Gaponov, S. P., & Myndra, A. A. (2018). Estimated heavy-metal and arsenic contents in medicinal plant raw materials of the Voronezh region. *Pharmaceutical Chemistry Journal, 52*(3), 220-223. https://doi.org/10.1007/s11094-018-1797-2

21. Gupta, G. P., Kumar, B., Singh, S., & Kulshrestha, U. C. (2016). Deposition and impact of urban atmospheric dust on two medicinal plants during different seasons in NCR Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, *16*(11), 2920-2932. https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0272

22. Rai, A., & Kulshreshtha, K. (2006). Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *International journal of food, agriculture and environment (Print)*, *4*(1), 253-259.

23. Romanenko, Y.A., Koshovyi, O.M., Komissarenko, A. M., Golembiovska, O.I., & Gladyish, Y.I. (2018). The study of the chemical composition of the components of the motherwort herb. *Вісник фармації*, (3), 34-38. https://doi.org/10.24959/nphj.18.2222

24. Romanenko, Y.A., Koshovyi, O.M., Kovalyova, A. M., Ilyina, T.V., & Komissarenko, A.M. (2018). Дослідження динаміки екстракції БАР трави собачої кропиви для одержання настойки. *Український біофармацевтичний журнал*, (3 (56)), 66-71. https://doi.org/10.24959/ubphj.18.185

25. Esirgapovich, S. J., Abduvahitovna, S. S., & Toshkhodjayevich, D. G. (2017). Isothermal medicinal herbal motherwort (*Leonurus cardiaca*) and mother and stepmother (Tussilago). *European research*, (3 (26)). https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R

26. Schutzendubel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental botany*, *53*(372), 1351-1365. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1351

27. Sharma, D. C., Chatterjee, C., & Sharma, C. P. (1995). Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. *Plant Science*, *111*(2), 145-151. https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R

28. Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, *61*, 283-293. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043

29. Wang, H., Shi, H., & Li, Y. (2011, May). Leaf dust capturing capacity of urban greening plant species in relation to leaf micromorphology. In *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection* (Vol. 3, pp. 2198-2201). IEEE. https://doi.org/10.1109/ISWREP.2011.5893701

30. Wang, L., Gong, H., Liao, W., & Wang, Z. (2015). Accumulation of particles on the surface of leaves during leaf expansion. *Science of the Total Environment*, *532*, 420-434. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.014

Дьякова Н.А. Анализ накопления тяжелых металлов и мышьяка травой *Leonurus quinquelobatus* Gilib. // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 48–56. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06

Dyakova, N.A. (2021). Accumulation of Heavy Metals and Arsenic in Grass *Leonurus quinquelobatum* Gilib. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 48–56. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06

дата поступления: 05.10.2020 дата принятия: 08.12.2020

УДК 58.002: 58.084
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/07

Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Кухлевская Ю.Ф.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ИНТРОДУЦЕНТОВ В СООТВЕТСТВИИ С УСЛОВИЯМИ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Fedorova D.G., Nazarova N.M., Kukhlevskaya Yu.F.

MODIFICATION OF THE METHODOLOGY FOR SSESSING THE VIABILITY OF INTRODUCED SPECIES IN ACCORDANCE WITH THE CONDITIONS OF DRY STEPPE ZONE OF THE ORENBURG REGION

Аннотация Проведена работа по модификации методики оценки жизнеспособности растений, учитывая лимитирующие факторы климатических условий Оренбургского Предуралья. Изучены виды растений, проходивших интродукцию в условиях Оренбургского Предуралья (на примере г. Оренбурга). Интродукционное изучение всех таксонов проводили в течение 8 лет (2012–2020 гг.). Проанализированы результаты визуальных и лабораторных наблюдений за сезонным развитием видов. На протяжении всего периода наблюдений ежегодно оценивали такие показатели, как одревеснение побегов, жаростойкость, засухоустойчивость, зимостойкость, сохранение формы роста, прирост в высоту, генеративное развитие, возможные способы размножения в культуре. Для каждого показателя подобраны числовые значения в баллах, соответствующие определенному состоянию растения. На основании интегральной оценки рассчитывали суммарный балл жизнеспособности отдельно по каждому году наблюдений и средний балл за период наблюдений. Сумма средних баллов является интегральным числовым выражением жизнеспособности интродуцированных растений. Установлено, что исследуемые виды относятся к I и II группе относительно критерия жизненной способности. Большинство видов и сортов относятся к группе перспективных растений для интродукции.

Ключевые слова: интродукция, устойчивость, перспективность интродукции, Оренбург, модификация.

Сведения об авторах: Федорова Дарья Геннадьевна, ORCID: 0000-0002-5323-4965, канд. биол. наук, Оренбургский государственный университет, Ботанический сад РФ, г. Оренбург, Россия, DaryaOrlova24@rambler.ru; Назарова Наталья Михайловна, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия, nazarova-1989@yandex.ru; Кухлевская Юлия Фаргатовна, Рослесозащита, ЦЗЛ Оренбургской области, г. Оренбург, Россия, v.kuhlevsky@yandex.ru

Abstract. The work was carried out to modify the method of assessing the viability of plants, taking into account the limiting factors of the climatic conditions of the Orenburg Preduralie. Are studied several species of plants, during the introduction at the steppe zone (on example of Orenburg). Introduction study of all taxons was carried out for 8 years (2012–2020). The results of visual and laboratory observations of the seasonal development of species. During the entire observation period such indicators, as lignification of shoots, heat resistance, drought resistance, winter hardiness, shoot-forming capacity, height increase, generative development, and possible ways of reproduction in culture were evaluated annually. For each indicator numerical values in points corresponding to a certain state of the plant were selected. Based on the integrated assessment, the total viability score was calculated separately for each year of observations and the average score for the observation period. The sum of the average scores is an integral numerical expression of the viability of the introduced plants. Was established that the studied species belong to the I and II group relatively the criterion of life skills. The most species and sorts are among the most promising plants for introduction.

Keywords: Introduction, stability, perceptiveness of introduction, Orenburg, modification.

About the authors: Fedorova Daria Gennadievna, ORCID: 0000-0002-5323-4965, Ph.D., Orenburg State University, Orenburg, Russia, DaryaOrlova24@rambler.ru; Nazarova Natalia Mikhailovna, Orenburg State University, Orenburg, Russia, nazarova-1989@yandex.ru; Kuhlevskaya Yulia Fargatovna, Roslesozashchita, CFP of the Orenburg Region, Orenburg, Russia, v.kuhlevsky@yandex.ru

Введение. Интродукционные исследования, направленные на изучение устойчивости растений, ежедневно проводятся в практической работе сотрудников ботанических садов. Интродукция растений считаетсясамостоятельной наукой, является частью ботаники и рассматривается как научно-практическое направление, позволяющее расширить флористический состав конкретного региона. Особую значимость данное направление получает в озеленении городской среды, т. к. за счет интродуцентов, обладающих высокими декоративными качествами, возможно расширить ассортимент

растений, используемых в зеленом строительстве. Основой любого интродукционного испытания является изучение экологического потенциала конкретного вида/рода/семейства растений в ходе их онтогенеза. На начальных этапах интродукции производится изучение анатомо-морфологических особенностей таксонов, с присущей для них генетической базой и с учетом их исторического развития в естественных ареалах обитания. На основании полученных сведений возможно предварительно оценить адаптационный потенциал интродуцента при переносе его в новые условия обитания [1; 2].

В настоящее время для качественного проведения интродукционных исследований разработано значительное количество методов и методических подходов, которые уже стали общепринятыми, и с успехом применяются научными сотрудниками для изучения особенностей растений, подвергающихся переносу из различных природно-климатических зон. Все методы интродукции можно разделить на две большие группы: экспериментальные и визуальные. Первая группа – это методы и методики интродукционного прогноза, направленные на оценку возможности переноса определенного растения в местообитания, отличные от аридных. Среди них широко известен метод фитоклиматических аналогов Майра [3; 4], а также дополненные и модифицированные методы, разработанные A. Pavari (1916) и Г.Т. Селяниновым (1928–1929); метод флорогенетичекого анализа В.П. Малеева (1993); экологический метод интродукции деревьев и кустарников, созданный с применением современных технологий; эколого-исторический и эколого-генетический методы М.В. Культиасова [5; 6; 8; 9]; метод интродукции растений флорогенетическими комплексами, метод интродукции растений с использованием геоботанических эдификаторов Ф.Н. Русанова (1950) [10].

Окончательный анализ жизнеспособности интродуцируемого растения производится с использованием второй группы методов (визуальные): оценка зимостойкости, засухоустойчивости, фенологического развития и др., чаще всего проводится по методике, разработанной ГБС РАН [11]. На основе полученных данных после использования этих методов оценивается первичная интродукция, или адаптация интродуцента в конкретных условиях среды. Другими словами, с использованием визуальных методов проводится определение перспективности интродукции испытуемого растения по определенным биоэкологическим показателям. По каждому показателю выставляется соответствующий балл, по суммарному числовому показателю определяется жизнеспособность интродуцента и определяется группа его перспективности. Разработана данная методика как для взрослых растений, так и для растений, не достигших генеративной стадии. Однако невозможно применение одной шкалы для проведения интродукции в разных климатических зонах, так как при интродукции важно учитывать лимитирующие факторы климата, которые в разных регионах соответственно отличаются. Правильно подобранная методика, учитывающая конкретные природно-климатические условия района интродукции, определяет успешность интродукции.

У каждого географического региона имеются свои характерные особенности, определяющие успех интродукции растений. К ним относятся почвенный состав, минимальные и максимальные температуры по сезонам года, водный, световой, ветровой режимы [5; 6]. Все это определяет климатические явления, характерные для каждого региона, которые, в свою очередь, определяют продолжительность периодов вегетации растений. Именно поэтому условия естественного местообитания интродуцентов не должны резко контрастировать с теми условиями среды, куда осуществляется их перенос. В целом интродукция растений представляет собой комплекс накопленных научных данных по особенностям развития конкретных таксонов растений в отдельно взятом регионе [10].

Условия, объкты и методика исследования. Экспериментальная часть исследования проводилась в течении 2012–2020 гг. на территории Ботанического сада Оребургского государственного университета. Город Оренбург – административный центр Оренбургской области. Расположен на юго-востоке европейской части России. Климат резко-континентальный. Основными лимитирующими факторами, препятствующими успешной интродукции растений в регионе, являются низкие зимние температуры, поздневесенние и раннеосенние заморозки, чередующиеся с оттепелями и недостаточной высотой снегового покрова в зимний период времени, а также высокие летние температуры с недостаточным количеством атмосферных осадков и суховеями в летний сезон. Малое количество осадков (360 мм/год) приводит к недостатку влаги в почве и воздухе. Засуха и суховеи оказывают влияние на рост и развитие растительных организмов: ростовые процессы значительно снижаются, могут увядать и осыпаться листья, соцветия и плоды, снижается продуктивность. Проанализировав вышеизложенное, становится очевидным, что при оценке жизнеспособности растений, произрастающих в таких климатических условиях Оренбуржья, необходимо использовать методику, учитывающую оценку засухоустойчивости (водного режима растений). Цель исследования – провести модификацию методики оценки перспективности интродукции, с учетом климатических

факторов сухостепной зоны Оренбуржья. Предмет исследования – методика оценки перспективности интродукции растений, разработанная на базе ГБС [11]. Объекты исследования – виды древесно-кустарниковых растений, проходящие интродукционные испытания на базе Ботанического сада Оренбургского государственного университета. На основе всего вышесказанного, для оценки перспективности интродуценов предлагается использовать следующие показатели: степень вызревания побегов; жаростойкость; засухоустойчивость; зимостойкость; сохранение формы роста; ежегодный прирост; способность растений к вегетативному размножению; способность растений к генеративному размножению.

1. Степень вызревания побегов определяется визуально. Ключевой фактор – ежегодное или не ежегодное вызревание побегов у интродуцента. Определяется по изменению окраски наружных покровов или наличию специфических образований (восковой налет, волоски и т. д.); по степени сформированности и защищенности почек; по срокам завершения роста побегов у растений, а также по окончанию листопада в конце вегетационного периода. Балльная оценка показателя: вызревание (одревеснение) на 75–100% длины побега – 15–20 баллов; одревеснение на 50–75% – 10–15 баллов; одревеснение на 25–50% – 5–10 баллов; вызревание на 1–25% – 2–5 баллов; отсутствие одревеснения – 1 балл.

2. Жаростойкость – исследование степени устойчивости листовых пластинок к воздействию высоких температур: 50° С, 55° С, 60° С (возможно использование других температурных режимов, подбираемых под конкретный вид растения). Лабораторный метод с использованием водяной бани. По степени побурения листовых пластинок анализируется жаростойкость исследуемых образцов [12]. Согласно методике, по итогу проведения эксперимента, все исследуемые растения подразделяются на три группы в соответствии со степенью их жароустойчивости. Предлагается каждой группе выставлять соответствующую балльную оценку: высокая жароустойчивость – 10 балов; средняя жароустойчивость – 5 баллов; низкая жароустойчивость – 1 балл.

3. Засухоустойчивость. Существует большое количество показателей водного режима, определяющих степень засухоустойчивости растений. Были выбраны два показателя, проанализировав зависимость которых предоставляется возможным выявить степень засухоустойчивости растительного организма по общей оводненности листа и водоудерживающей способности листовой пластинки [12]. Методика лабораторная. Выполняется путем повторных взвешиваний листовых пластинок через определенные промежутки времени (сразу после сбора, через 24 ч и после полного высыхания листа). Балльная оценка показателя: высокая засухоустойчивость отмечается при больших показателях общей оводненнности, а также высокой водоудерживающей способности – 10 баллов; средняя засухоустойчивость – допускается следующая зависимость: низкая общая оводненность листьев в совокупности с высокой водоудерживающей способоностью – 5 баллов либо высокая оводненность при низкой водоудеживающе способности – 3 балла; низкая засухоустойчивость – при этом оба показателя имеют низкие значения – 1 балл.

4. Зимостойкость – оценка проводится визуально весной или в начале лета. При проведении данной методики возможно также осуществление поперечных срезов побегов (почернение камбия свидетельствует об обмерзании побега). Балльная оценка показателя: отсутствие повреждений однолетних побегов – 25 баллов; повреждены не более 50 % однолетних побегов – 20 баллов; повреждение однолетних побегов на 50–100% – 15 баллов; отмечаются повреждения двух- и трехлетних побегов – 10 баллов; повреждена вся надземная часть до уровня снегового покрова – 5 баллов; растение повреждено до корневой шейки – 3 балла – гибель растения – 1 балл.

5. Сохранение формы роста – сохранение габитуса. Все древесно-кустарниковые растения имеют свою определенную форму кроны. Данный показатель характеризует способность растения сохранять естественный габитус в новых условиях произрастания. Балльная оценка: растение сохраняет естественную форму роста – 10 баллов; растения повреждаются определенными факторами среды (высокие и низкие температуры, суховеи и т. д.), но при этом ежегодно способны восстанавливать присущую для них форму роста – 5 баллов; растение не сохраняют и не способны к восстановлению естественного габитуса – 1 балл.

6. Ежегодный прирост – прирост растения в высоту. Высота растений в разных природно-климатических условиях может варьировать и определяется различными критериями (экологические условия, возраст растений, генетические особенности растения и др.). Максимальная высота, которую способно достичь растение в конкретных условиях, – зональный оптимум. Увеличение высоты до зонального оптимума является показателем устойчивости растения. Балльная оценка: прирост ежегодный – 5 баллов; прирост не ежегодный – 1 балл.

7. Способность растений к вегетативному размножению. В данном случае основным критерием являются возможные способы размножения растений в культуре: самосев – 10 баллов; искусственный посев – 5 баллов; естественное вегетативное размножение – 3 балла; искусственное вегетативное размножение – 2 балла; повторное привлечение растений извне – 1 балл.

8. Способность растений к генеративному размножению учитывается только у взрослых растений, достигнувших генеративную стадию развития. Балльная оценка показателя: семена вызревают – 25 баллов; семена не созревают – 20 баллов; растения цветут, но не плодоносят – 15 баллов; растения не цветут – 1 балл.

Результаты исследования. Как видно, к уже имеющимся показателям в методике ГБС предлагается добавить еще два показателя (засухоустойчивость и жаростойкость), которые не меньше других являются важными для оценки жизнеспособности в условиях Оренбуржья. Важно отметить, почему для определения этих параметров выбрана лабораторная методика, а не полевая (визуальная), которая в использовании намного проще. Это связано с тем, что визуальный способ наблюдения имеет большую степень погрешности и неточности. Методика наблюдения учитывает взаимосвязь визуального повреждения (опадания) листовых пластинок, что не всегда свидетельствует о низкой жаро- либо засухоустойчивости растений. Многие засухоустойчивые растения (например, некоторые виды боярышника в условиях Оренбурга) могут сбросить большую часть листьев, но при этом не сбрасывают плоды и отлично закладывают цветовые почки. Именно поэтому наиболее надежным является использование лабораторно-полевого метода оценки данных показателей.

По величине суммарного балла устанавливается интегральный числовой показатель жизнеспособности, и определяется группа перспективности. В совокупности самый высокий балл, который может набрать объект исследования, равен 115, наименьший – 8. Группы перспективности растений в данной методике подразделяются следующим образом:

Перспективные растения	95–115 баллов	I Перспективные
	70–94 баллов	II Менее перспективные
Неперспективные растения	40–69 баллов	III Малоперспективные
	Менее 40 баллов	IV Неперспективные

В качестве примера приведем оценку перспективности интродукции нескольких таксонов древесно-кустарниковых растений, которые проходят интродукцию на территории Ботанического сада Оренбургского государственного университета. Для того, чтобы показать универсальность данной методики, мы взяли в качестве объектов исследования как хвойные, так и лиственные растения (табл.).

Таблица

Оценка жизнеспособности некоторых таксонов растений при интродукции в условиях Оренбургского Предуралья (с использованием модифицированной методики)

	Вызревание побегов	Жаростойкость	Засухоустойчивость	Зимостойкость	Сохранение формы роста	Ежегодный прирост	Способность к вегетативному размножению	Способность к генеративному размножению	Сумма баллов
Thuja occidentalis L.	20	8	5	25	10	5	7	25	105
Juniperus communis L.	20	10	4	25	10	5	7	25	106
Juniperus communis Horstmann	20	10	3	20	5	5	7	25	95
Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott	20	5	7	25	10	5	7	25	104
Crataegus maximowiczii C.K. Schneid.	20	1	4	25	10	5	7	25	97
Sorbus intermedia (Ehrh.) Pers.	20	3	4	25	10	5	5	25	97
Sorbus koehneana C.K. Schneid.	20	3	4	25	10	3	3	20	88
Sorbus mougeotii Godr. & Soy.-Will.	20	5	4	25	10	4	5	25	98
Syringa amurensis Rupr.	20	5	3	25	10	5	7	15	90
Syringa × henryi C.K. Schneid.	20	1	3	15	10	5	7	25	86
Syringa josikaea J. Jacq. ex Reichenb.	20	10	7	20	10	5	7	25	104
Syringa reflexa C.K. Schneid.	20	5	3	15	10	5	7	25	90

Исходя из получившихся результатов, было определено, что среди объектов исследования выделяются только две группы перспективности, а именно: перспективные растения – *Thuja occidentalis* L., *Juniperus communis* L., *Juniperus communis* Horstmann, *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott, *Crataegus maximowiczii* C.K. Schneid., *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., *Sorbus mougeotii* Godr. & Soy.-Will., *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Reichenb., и менее перспективные растения – *Sorbus koehneana* C.K. Schneid., *Syringa amurensis* Rupr., *Syringa* × *henryi* C.K. Schneid., *Syringa komarowii* C.K. Schneid.

Выводы. 1. Анализ специфических характеристик климатических условий Оренбуржья позволил модификационно измененить методики оценки перспективности интродукции для растений. При этом предложено обязательно учитывать балльную оценку жаро- и засухоустойчивости растительных организмов по соответствующим методическим указаниям.

2. На основе многолетних данных вегетативного развития 12 таксонов древесно-кустарниковых растений, используя модифицированную методику оценки жизнеспособности растений, выделены 2 группы перспективности: 8 видов – перспективные, 4 – вида менее перспективные растения. Обе группы относятся к видам, перспективным для выращивания в условиях Оренбуржья.

Литература

1. Базилевская Н.А. Об основах теории адаптации растений при интродукции // Бюллетень главного ботанического сада. 1980. Вып. 120. С. 3-9.

2. Базилевская Н.А. Теория и методы интродукции растений. М.: изд-во МГУ, 1964. 130 с.

3. Mayr H. Die Naturgesetzlicher Grandlage des Weldbauses. Berlin, 1908. 57 p.

4. Pavari A. Studio preliminary sully culture dei special forestall esotiche in Italia. Pirenze, 1916. 83 p.

5. Селянинов Г.Т. Климатические аналоги Черноморского побережья Кавказа // Труды прикладной ботаники, генетики, селелекции. 1928-1929. Т. 21. С. 57-73.

6. Малеев В.П. Теоретические основы акклиматизации. Л.: Сельхизиздат, 1933. 160 с.

7. Любимов В.Б., Котова Н.П. Эффективность интродукции растений экологическим методом, дифференцированно природным условиям района исследований // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. №3. С. 134-137.

8. Культиасов М.В. Экологические основы интродукции растений природной флоры // Труды главного ботанического сада. 1963. Вып. 9. С. 54-65.

9. Культиасов М.В. Эколого-исторический метод в интродукции растений // Бюллетень главного ботанического сада. Вып. 15. 1953. С. 37-49.

10. Русанов Ф.Н. Новые методы интродукции растений // Бюллетень главного ботанического сада. 1950. Вып. 7. С. 43-72.

11. Белюченко И.С., Мустафаев Б.А. Интродукция растений как метод расширения видового состава кльтурных фитоценозов в южный районах СНГ // Экологический вестник Северного Кавказа. 2013. Т.9. №4. С. 73-89.

12. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М.: ГБС АН СССР, 1973. С. 7-67.

13. Седов Е.Н., Огольцова Т.П. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехъоплодных культур. М.: изд-во ВНИИСПК, 1999. С. 235-246.

References

1. Bazilevskaya, N.A. (1980). Ob osnovakh teorii adaptatsii rastenii pri introduktsii. *Byulleten' glavnogo botanicheskogo sada,* 120. 3-9. (in Russ.).

2. Bazilevskaya, N.A. (1964). Teoriya I metody introduktsii rastenii. Moscow. (in Russ.).

3. Mayr, H. (1908). Die Naturgesetzlicher Grandlage des Weldbauses (Berlin). 57.

4. Pavari, A. (1916). Studio preliminary sully culture dei special forestall esotiche in Italia. Pirenze.

5. Selyaninov, G.T. (1928-1929). Klimaticheskie analogi Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza. *Trudy prikladnoi bo-taniki, genetiki, selelektsii,* 21. 57-73. (in Russ.).

6. Maleev, V.P. (1933). Teoreticheskie osnovy akklimatizatsii. Leningrad. (in Russ.).

7. Lyubimov, V.B., & Kotova, N.P. (2014). Effektivnost' introduktsii rastenii ekologicheskim metodom, differentsirovanno prirodnym usloviyam raiona issledovanii. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* (3). 134-137. (in Russ.).

8. Kul'tiasov, M.V. (1963). Ekologicheskie osnovy introduktsii rastenii prirodnoi flory. *Trudy glavnogo botanicheskogo sada,* 9. 54-65. (in Russ.).

9. Kul'tiasov, M.V. (1953). Ekologo-istoricheskii metod v introduktsii rastenii. *Byulleten' glavnogo botanicheskogo sada,* 15. 37-49. (in Russ.).

10. Rusanov, F.N. (1950). Novye metody introduktsii rastenii. *Byulleten' glavnogo botanicheskogo sada,* 7. 43-72. (in Russ.).

11. Belyuchenko, I.S., & Mustafaev, B.A. (2013). Introduktsiya rastenii kak metod rasshireniya vidovogo sostava kl'turnykh fitotsenozov v yuzhnyi raionakh SNG. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza*, *9*(4). 73-89. (in Russ.).

12. Lapin, P.I., & Sidneva, S.V. (1973). Otsenka perspektivnosti introduktsii drevesnykh rastenii po dannym vizual'nykh nablyudenii. In Opyt introduktsii drevesnykh rastenii. Moscow, 7-67. (in Russ.).

13. Sedov, E.N., & Ogol'tsova, T.P. (1999). Programma I metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh I orekh"oplod-nykh kul'tur. Moscow, 235-246. (in Russ.).

Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Кухлевская Ю.Ф. Модификация методики оценки жизнеспсобности интродуцентов в соотвествии с условиями сухостепной зоны Оренбургского предуралья // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 57-62. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/07

Fedorova, D.G., Nazarova, N.M. & Kuhlevskaya, Yu.F. (2021). Modification of the Methodology for Assessing the Viability of Introduced Species in Accordance with the Conditions of dry Steppe Zone of the Orenburg Region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 57-62. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/07

дата поступления: 12.02.2021 дата принятия: 21.04.2021

UDC 595.442:574.472(470.45)
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/08

Khnyckin A.S., Ivantsova E.A.

BIOLOGICAL DIVERSITY OF THE SPIDERS HERPETOBIONT POPULATION OF DEGRADED BIOTOPES IN VOLGOGRAD CITY AND ITS SURROUNDINGS

Хныкин А.С., Иванцова Е.А

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ГЕРПЕТОБИОНТНОГО НАСЕЛЕНИЯ ПАУКОВ В ГОРОДЕ ВОЛГОГРАД И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

Abstract. The article deals with exposed to strong anthropogenic impact of biotopes spiders species community on the territory of Volgograd (South of the European territory of Russia). The material was collected using Barber's open soil traps with a fixing solution. Using the Simpson diversity index, the state of biotopes was evaluated, and the comparison of the species composition of spiders using cluster analysis based on the qualitative and quantitative aspects of the Jaccard index was carried out. In the course of the exploring, it was found out that the steppe biotopes of this region are least susceptible to anthropogenic load. In urban environment species are replaced with those that are more resistant to anthropogenic stress, but biological diversity is restored over time. The species composition of the near-aquatic biotopes most susceptible to the influence of the environment microclimatic conditions.

Keywords: Spiders, Volgograd region, biodiversity, biotopes, cluster analysis

About the authors: Hnykin Alexander Sergeevich, ORCID: 0000-0001-8577-1960, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia, theraan@mail.ru; Ivantsova Elena Anatolyevna, ORCID: 0000-0003-4265-9703, Dr. habil., Volgograd State University, Volgograd, Russia, ivantsova.volgu@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ сообщества нескольких видов пауков, распространенных на территории Волгограда (юг европейской территории России). Исследуемые местообитания были подверженны сильному антропогенному воздействию. Материал собран с помощью открытых почвенных ловушек Барбера с фиксирующим раствором. С помощью индекса разнообразия Симпсона было оценено состояние биотопов и проведено сравнение видового состава пауков с использованием кластерного анализа, основанного на качественных и количественных аспектах индекса Жаккара. В процессе исследования было установлено, что степные биотопы этого региона наименее подвержены антропогенной нагрузке. В городской среде виды заменяются более устойчивыми к антропогенному стрессу, но биологическое разнообразие со временем восстанавливается. Видовой состав приводных биотопов наиболее подвержен влиянию микроклиматических условий окружающей среды.

Ключевые слова: пауки, Волгоградская область, биоразнообразие, биотопы, кластерный анализ.

Сведения об авторах: Хныкин Александр Сергеевич, ORCID: 0000-0001-8577-1960, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Россия, ther-aan@mail.ru; Иванцова Елена Анатольевна, ORCID: 0000-0003-4265-9703, д-р с.-х. наук, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия,ivantsova.volgu@mail.ru

Introduction. The experience of recent years shows that the research of entomological communities as an integral part of biological monitoring is relevant in the constant anthropogenic transformation of the natural environment conditions. Many regions of the world in general and Russia in particular are poorly affected by arachnological research or are not affected at all. On the Russian Federation territory, the spider fauna of the Urals, Siberia, the Far East, and Dagestan is actively studied [1; 3; 4; 6]. The araneofauna of the Rostov region and the Dzhanybek research station (the border of the Volgograd Region and the Republic of Kazakhstan) have been sufficiently studied among the territories nearby to the research region [7; 8; 9]. Earlier studies of spider biodiversity [2; 5; 11; 12] do not take into account the dry-steppe zone of the Russia's European territory conditions, or the research objects are other living organisms, which indicates the relevance of the Lower Volga region araneofauna research. There are only a few publications related to ecological and faunal studies of this region: an annotated list of spiders of the Volgograd region is presented in the article by Ponomarev A.V., Khnykin A. S. [9]; seasonal changes in the species composition of the forest araneofauna of the Volgograd region and near-water biotopes of the Volgograd agglomeration are considered in own publications [11; 12].

Materials and methods. Territories with varying degrees of disturbance were selected as study polygons to assess the degree of spider communities transformation (Fig. 1). Terrain inhomogeneities, such as

the Ergeninskaya Upland, which retains a significant part of the JSC "Khimprom" emissions on its slopes, can act as geochemical barriers to pollutants.

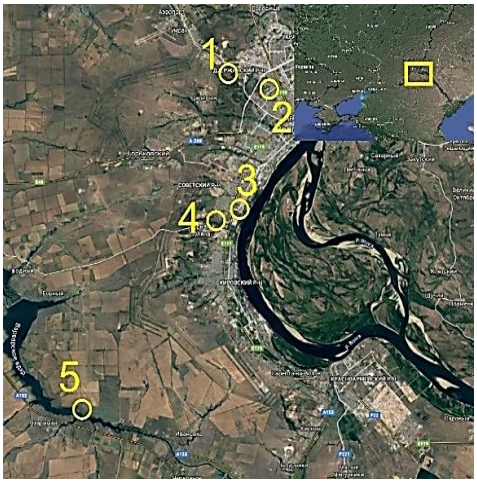


Fig. 1. Research area and key points location: 1 – location near the Volgograd plant of drilling equipment in Dzerzhinskij district of the Volgograd city; 2 – Prolomnyj ravine in Dzerzhinskij district of the Volgograd city; 3 – hydrological complex of the FSC of Agroecology of RAS (former VNIALMI) in Sovetskij district of the Volgograd city; 4 – Grigorova ravine together the Lysaya Gora natural boundary in Sovetskij district of the Volgograd city; 5 – location near the Varvarovskoye water reservoir inside the Volga-Don navigation canal named after Lenin in Gorodishhenskij district of the Volgograd city

The division of these polygons by transformation levels was carried out as follows:

– the impact zone includes the Prolomny ravine;

– the buffer zone includes the area near the Volgograd Drilling Equipment Plant (VZBT) and the hydrological complex of the FSC of agroecology RAS;

– the background zone includes Grigorova Balka with the Lysaya Gora tract and the area near the Varvarovsky reservoir.

The material was collected using open Barber traps with a diameter of 10 cm without bait with a fixing liquid (6% acetic acid solution). The species identification carried out according to national [2; 10] and foreign determinants, using Internet resources and together with A.V. Ponomaryov, Senior Researcher of the Department of Terrestrial Ecosystems of the Institute of Arid Zones of the Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of The Sciences (SSC RAS).

The Simpson Index of Biological Diversity (D_S), a dimensionless indicator used in biology to determine the degree of the sampling objects features distribution uniformity, was calculated based on actual data:

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{S}\left(\frac{n_i}{N}\right)^2},$$

where S is the number of species, n_i is the number of individuals of the i-th species, and N is the total number of individuals.

In the computer application "Cluster Analysis", dendrograms of the biotopes similarity by the Jacquard coefficient were constructed, taking into account the qualitative (presence or absence of a species) and qualitative-quantitative (presence and number of captured individuals of each species) aspects of the species composition of biotopes. The Jacquard index was calculated using the formula:

$$I_J = \frac{C}{A+B} \times 100,$$

where C is the total population of species in both plots; A is the number of species that live only in the first plot; B is the number of species that live only in the second plot.

Results and discussion. Data on the Simpson Diversity index (D_S) are presented in Table, and on the Jacquard coefficient in Figures 1-4.

As can be seen from Table, the values of the Simpson index for steppe and forest biotopes are close to each other, but the degree of individual species dominance in steppe biotopes is slightly higher. In ravines and balkas, the value of the species diversity indicator reaches its maximum. The average number of species in different biotopes, as shown by our research, was almost the same, but the number of captured individuals in near-water biotopes was much higher.

In the steppe biotopes conditions, the highest values of the Jacquard coefficient were noted – 0.26–0.47 (Fig. 2). Taking into account the values of the diversity index, it can be concluded that the araneofauna of steppe biotopes experiences the least stress, and, consequently, is the most resistant to anthropogenic changes.

The steppe areas near the VZBT and the area adjacent to the Prolomny ravine are qualitatively quite similar in terms of the araneofauna species composition, but in quantitative terms, the differences are noticeable. The other parameters of biological diversity (the number of species detected, the Simpson dominance index) are approximately at the same level, with the exception of the number of captured individuals.

The qualitative and qualitative-quantitative values of the Jacquard coefficient in the the VZBT and Grigorova Balka sites are close to each other (0,39 and 0,34), which is probably due to similar environmental processes occurring in both sections: in the first case, it is an abandoned and dead garden, and in the other – an almost shrunken forest belt. In both cases, there is a change of forest microclimatic conditions to steppe

ones. The araneofauna biological diversity in these areas is almost identical, but the territory of the VZBT is characterized by a higher ecological capacity.

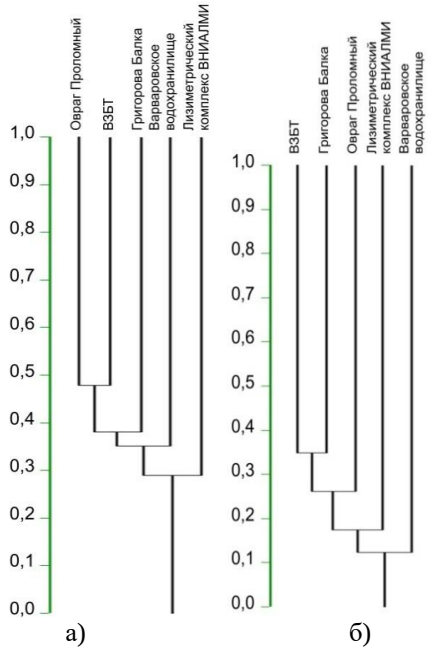


Fig. 2. Qualitive (a) and Quality-quantitive (b) Jaccard indexes for steppe biotopes

Varvarovsky reservoir and lysimetric complex of the FSC of agroecology RAS maximally differs from the rest a key polygons and between each other, both in qualitative and in qualitative-quantitative terms. According to the main indicators of biological diversity, these key sites have the least similarity among the entire group of biotopes (if we exclude the open and poorly overgrown sands of Lysaya Gora). For the lysimetric complex, this is due to the peculiar ecological conditions of the urban landscape. The situation with the Varvarovsky reservoir developed in a similar way, presumably due to the island status of this biotope (the key site is adjacent to the uncultivated potyazhina, surrounded on all sides by arable land).

Among the steppe biotopes, the area of open and poorly overgrown sands on Lysaya Gora stands out sharply with the values of both indices of biological diversity. Here, the diversity index has the lowest value (0,5). The number of species and captured individuals here is minimal, and the species composition also differs significantly from the other sites. All of these facts indicate a strong stress experienced by the spider community in this area. However, this situation is most likely due to the extreme natural conditions of the area (in summer, for example, the soil surface can heat up to +70°C). The overall set of environmental and microclimatic factors of Lysaya Gora is unique for the study area. The highest diversity index values are for the open steppe area near Grigorova Balka and its anthropogenic counterpart – the courtyard of the FSC of agroecology RAS. This suggests that the biological diversity of disturbed areas returns to its previous values over time, but the community species composition can change significantly. Close to each other steppe population and number of species of spiders Grigorova Balka and wheatgrass facia of FSC of agroecology RAS lysimetric complex. However, the species composition of these two key points differs significantly in both qualitative and quantitative aspects. Based on these facts, it is should be concluded that a relatively stable araneocomplex was formed on the wheatgrass facia of the lysimetric complex during its existence.

On average, forest biotopes have one of the lowest values of the Simpson diversity Index. The estimated reason for this was the relatively small area of forest stands on the territory of the Volgograd agglomeration. In addition, one of the surveyed research sites (the courtyard of the lysimetric complex of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences) is surrounded by urbanized territories. For the same reason, the average value of the species diversity of spiders is the lowest, and the number of captured individuals is high. It is worth noting the high qualitative and very low quantitative similarity between the majorities of biotopes (Fig. 3).

With a general relatively similar species composition, different species of spiders turned out to be massive. In the courtyard of the FSC of agroecology RAS lysimetric complex, this is *Harpactea rubicunda* (96 individuals/100 trap-days), for Grigorova Balka it is *Pardosa alacris* (329 individuals/100 trap-days). In the other biotopes, several species are often found in the dominant, but they also differ, as evidenced by a rather large difference (almost 1,5 times) between the qualitative and quantitative values of the Jacquard coefficient, which indicates that the forest biotopes considered differ greatly in their abiotic conditions.

Despite the completely different species composition of woody and herbaceous plants, the maximum similarity of the araneofauna of tree stands near the Prolomny ravine and pine plantings in the area of the VZBT was noted (the value of the Jacquard coefficient is 0,38 in qualitative and 0,26 in quantitative aspects). In terms of the number of species living here, these two biotopes are ahead of the others, but the situation is very different in terms of the number of captured individuals. 517 individuals were caught in forest landings near the Prolomny ravine (this is the second result among forest biotopes), and 201 individuals were caught in pine stands (the smallest number in this category). The situation is very ambiguous; the ecological and microclimatic conditions of these biotopes differ significantly from each other, but the biodiversity indicators of spider community are generally close to each other. It can be assumed that this situation is the result of a large fire, which almost completely destroyed the pine stands on the territory near the VZBT.

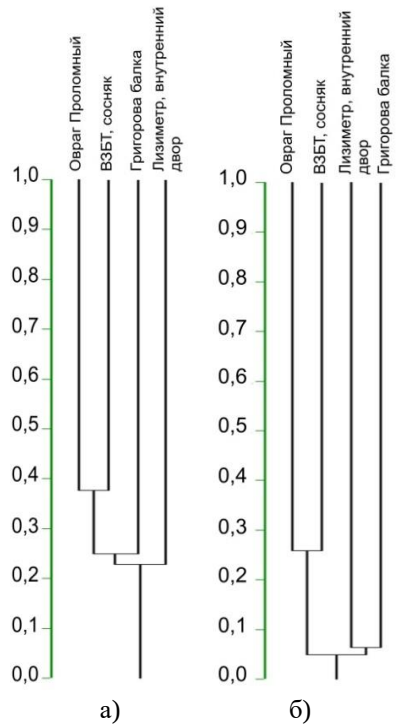


Fig. 3. Qualitive (a) and Quality-quantitive (b) Jaccard indexes for forest biotopes

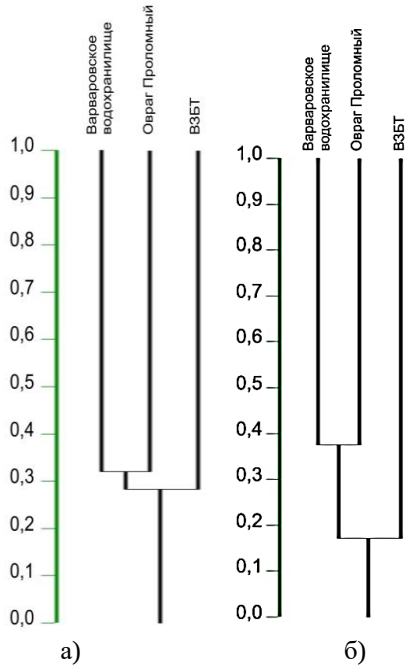


Fig. 4. Qualitive (a) and Quality-quantitive (b) Jaccard indexes for ravine biotopes

Similar values has an index of dominance of the inner courtyard of the FSC of agroecology RAS lisymetric complex and the Grigorova Balka's forest, but the species composition of these habitats has the least degree of similarity. The index of dominance in the Grigorova Balka was very strongly influenced by the species *Pardosa alacris*, whose population is very high here. Obviously, the natural conditions of the Grigorova Balka were optimal for this species. It was not found in other examined biotopes. For the number of species and the number of captured individuals, the situation is very different. In the forest area of Grigorova Balka, 46 species of spiders live, which is only 1 species less than in the pine plantations near the VZBT, and in terms of the captured individuals number, this biotope is in the first place (705 spiders). According to the set of indicators, courtyard territory of the FSC of agroecology RAS lisymetrics complex differs the least biological diversity. Obviously, the size of this biotope (in contrast to the wheatgrass facies here) was not enough for the complete flow of successional processes in disturbed urban habitat conditions and for the formation of a stable araneocomplex.

Biotopes of ravines and balkas. The araneofauna of ravines and balkas is characterized by the greatest biodiversity among all the studied biotopes. As can be seen from Figure 4, in qualitative terms, all three biotopes are quite close to each other; the value of the Jacquard coefficient varies from 0,27 to 0,32.

However, in quantitative terms, there is a great similarity between the potyazhina on the Varvarovsky reservoir and the Prolomny ravine (0,375), and the ravine near the VZBT differs significantly from them (0,172 and 0,17, respectively). An average of 515 individuals from 65 species were captured at each key site. Such a high level of biodiversity indicates that the ecological conditions of ravines and balkas, which have individual characteristics, inherent in ecotones, when the dry steppe conditions are replaced by softer grasslands conditions, are the optimal habitat for species living in the adjacent territories.

In the Prolomny ravine and at the bottom of the potyazhina near the Varvarovsky reservoir, the species composition of mass species is more similar, while in the species composition of rare species there are significant differences, as indicated by the values of the Simpson coefficient. The dominance of other spider species is almost the same at both key points, and the population indicators of araneofauna are quite different. Therefore, in the Prolomny ravine, 457 individuals from 55 species were caught, while at the bottom of the potyazhina near the Varvarovsky reservoir 234 individuals from 49 species were captured. Apparently, these differences are caused by the different genesis of both biotopes: the potyazhina of the Varvarovsky reservoir has an island status, while the Prolomny ravine flows into the floodplain of the Volga Tsaritsa River, i.e. it is part of a larger landscape formation.

The species composition of spiders ravine near VZBT in qualititative terms in equal measure coincides the habitats of other ravines, but in quantitative terms, much differs from them, that is, with a large percentage of the same types, the dominants are different, despite the strong similarity of the natural environment with a Prolomny ravine and species composition with other habitats. There is no sharp dominance of any one species. As can be seen from the data given in Table, the araneofauna of the ravine near the VZBT has the most optimal natural conditions complex among all the key points considered in this work. The presence of a spring and

isolation from the nearest sources of anthropogenic press by a large wood mass led to the fact that, despite the relatively small distance from the city borders, a community of spiders close to the natural one remained in this ravine.

Table

Diversity (*Ds*) index of Simpson and spiders biological diversity

Biotopes	Key points	Ds	Number of species	Number of captured specimens
Steppes	Grigorova balka, step’	13,9	41	268
	Lysaya Gora, pesok	0,5	22	162
	Ovrag Prolomnyi, brovka	9,2	53	324
	VZBT, brovka	11,6	57	522
	Varvarovskoe vdkhr., brovka potyazhiny	8,5	34	148
	Lizimetr, pyreinaya fatsiya	11,8	45	230
	Average	9,3	50	330
Forests	Grigorova balka, les	3,9	46	705
	Ovrag Prolomnyi, posadki	13,5	59	517
	VZBT, sosnovye posadki	14,4	47	201
	Lizimetr, vnutrennii dvor	4,5	31	224
	Average	9,1	46	412
Ravines and balkas	Ovrag Prolomnyi, dno ovraga	13,2	55	457
	Varvarovskoe vdkhr., dno potyazhiny	13,4	49	234
	VZBT, rodnik	28,3	91	854
	Average	18,3	65	515
Springs and near-aquatic biotopes	Grigorova balka, rodnik	2,4	41	1879
	Ovrag Prolomnyi, rodnik	7,7	40	350
	Varvarovskoe vdkhr., bereg kanala	5,2	36	576
	Average	5,1	39	935

Springs, near-water biotopes. The values of the Simpson index of near-water biotopes are close to the average (Fig. 5). Without taking into account the spring near the VZBT, the Simpson diversity index is 5,1. According to the degree of similarity of the species composition, they differ from each other as much as possible. The qualitative values of the Jacquard index are 0,17–0,25, and the quantitative values are 0,03–0,13.

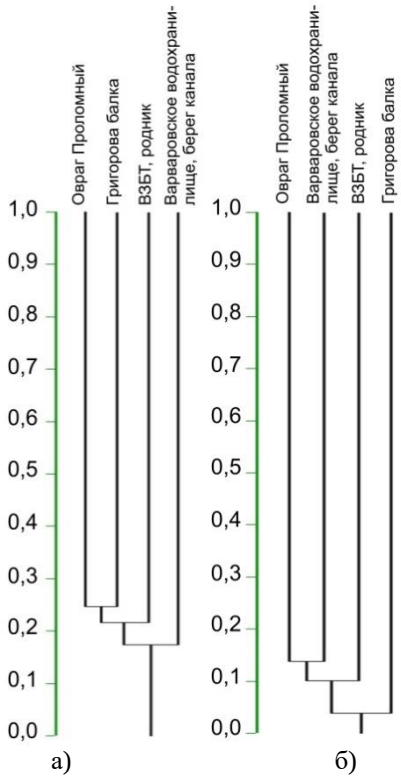


Fig. 5. Qualitive (a) and Quality-quantitive (b) Jaccard indexes for springs and near-aquatic

It was also decided to include the ravine near the VZBT in this group of studied biotopes because of the water source (spring) flowing here. The species composition of araneofauna in this area significantly differs from the others compare habitats, which is explainable by the abiotic conditions difference: the springs in the Prolomny ravine and Grigorova Balka surround arrays of large trees, while the spring near VZBT is located in the ravine, almost devoid of woody vegetation. However, the ravine itself is located in the center of a large tree plantation. In addition, some of the traps are located above the current of the spring, which allows us to attribute the results to both the ravines biotopes and the spring’s biotopes. The investigated area has the highest indicators of biological diversity among near-water biotopes. In addition to the fact that the value of the diversity index is the highest among all the key points surveyed, the maximum number of species (91 species) was also found here and a significant number (854 individuals) of spiders were captured.

The spring in Grigorova Balka is characterized by the lowest biodiversity of spider species according to

Simpson coefficient (2.4), which is associated with the presence of the superdominant Pardosa alacris, the main part of the population of which lives here (during the study period, 834 individuals of this species were caught in this biotope), only a lesser part habitated in the forest biotope. According to the species composition Grigorova Balka and Prolomny ravine territories are the closest to each other, but the ratio of the number of species is the lowest among all biotopes (the qualitative-quantitative value of the Jacquard coefficient is 0.03).

The values of Simpson index in Prolomny ravine spring and on the Varvarovsky reservoir shore are close to average, which may mean an equal degree of impoverishment of the spider community, caused in the first case by the extreme depression of the biotope, and in the second – by the natural monotony of environmental conditions (studies were carried out in reed beds). This assumption is partially supported by the population indicators of both key sites. The total number of spiders on the bank of the Volga-Don shipping channel is more than 1.5 times higher than in the Prolomny ravine.

Conclusions. 1. The araneofauna of the steppe biotopes adjacent to Volgograd is the most resistant to anthropogenic changes in ecosystems, since on average the species diversity here is one of the highest without a sharp dominance of individual species.

2. The biological diversity of disturbed areas eventually returns to the previous parameters with a new species composition, which is confirmed by the population characteristics and the diversity index of individual biotopes.

3. Large woodlands are a reliable buffer zone between sources of anthropogenic pressure and natural complexes, as evidenced by the close to natural community of spiders in the ravine near the VZBT.

4. Microclimatic differences between near-water biotopes affect the species composition of araneofauna to a greater extent than other biotopes.

5. Spiders adapt to anthropogenic environmental changes at the community level. In disturbed ecosystems, spider species that are sensitive to changes in environmental conditions are replaced by more stable or synanthropic ones.

References

1. Abdurakhmanov, G.M., & Alieva, S.V. (2011). Itogi izucheniya fauny paukov (Aranei) Respubliki Dagestan. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie,* (1). 44-66. (in Russ.).

2. Azheganova, N S. (1968). Kratkii opredelitel' paukov (Aranei) lesnoi I lesostepnoi zony SSSR. Leningrad. (in Russ.).

3. Danilov, S.N. (2008). Katalog paukov (Arachnidae, Aranei) Zabaikal'ya. Ulan-Ude. (in Russ.).

4. Esyunin, S.L., & Efimik, M.E. (1996). Katalog paukov (Arachnidae, Aranei) Urala. Moscow.

5. Lyubechanskii, I.I. (2012). Naselenie napochvennykh paukov (Arachnida: Aranei) estestvennykh I antropogenno narushennykh biotsenozov severnoi 68rete zapadnoi Sibiri I ego sravnenie s naseleniem zhuravlinykh I dvu-krylykh (Coleoptera), narushayushchikh populyatsiyu zhuzhelits (Coleoptera): paukoobraznykh (Coleoptera) I bioresur-sov (Coleoptera). Severnaya taiga Zapadnoi Sibiri I ee sravnenie s populyatsiei zhuzhelits (Coleoptera: Cara-bidae). *Russkii entomologicheskii zhurnal, 21*(2). 147-155. (in Russ.).

6. Marusik, Yu.M., & Kovblyuk, N.M. (2011). Pauki Sibiri I Dal'nego Vostoka Rossii. Moscow. (in Russ.).

7. Piterkina, T.V., & Mikhailov, K.G. (2009). Annotirovannyi spisok paukov (Aranei) Dzhanybekskogo statsionara. Zhivotnye glinistoi polupustyni Zavolzh'ya (konspekty fauny I ekologicheskie kharakteristiki). Moscow. (in Russ.).

8. Ponomarev, A.V., & Ivliev, P.P. (2008). O fauny paukov (Aranei) del'ty Dona. *Vestnik YuNTs RAN, 4*(1). 61-67. (in Russ.).

9. Ponomarev, A.V., & Khnykin, A.S. (2014). Pauki (Aranei) Volgograda I ego okrestnostei. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie, 8*(4). 109-136. (in Russ.).

10. Tishchenko, V.P. (1971). Opredelitel' paukov Evropeiskoi chasti SSSR (Opredeliteli po faune SSSR, izda-vaemye Zoologicheskim institutom AN SSSR. Vyp. 105). Leningrad. (in Russ.).

11. Khnykin, A.S. (2016). Sezonnye izmeneniya vidovogo sostava lesnoi araneofauny Volgogradskoi oblasti. In *Ekologicheskaya bezopasnost' I okhrana okruzhayushchei sredy v regionakh Rossii: teoriya I praktika: materialy II Vseros. nauch.-prakt. konf. Volgograd*, 343–348. (in Russ.).

12. Khnykin, A.S. (2017). Sezonnaya dinamika chislennosti I vidovogo sostava paukov okolovodnykh biotopov Volgogradskoi aglomeratsii. In *Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie prirodnoi sredy I nauchno-prakticheskie aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. Internet-konf. Solenoe Zaimishche*, 140–142. (in Russ.).

Литература

1. Абдурахманов Г. М., Алиева С. В. Итоги изучения фауны пауков (Aranei) Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2011. №1. С. 44-66.

2. Ажеганова Н С. Краткий определитель пауков (Aranei) лесной и лесостепной зоны СССР. Ленинград: Наука. 1968. 149 с.

3. Данилов С.Н. Каталог пауков (Arachnidae, Aranei) Забайкалья. Улан-Удэ, 2008. 108 с.

4. Есюнин С.Л., Ефимик М.Е. Каталог пауков (Arachnidae, Aranei) Урала. М.: Товарищество научных изданий КМК, 1996. 229 с.

5. Любечанский И.И. Население напочвенных пауков (Arachnida: Aranei) естественных и антропогенно нарушенных биоценозов северной тайги западной Сибири и его сравнение с населением журавлиных и двукрылых (Coleoptera), нарушающих популяцию жужелиц (Coleoptera): паукообразных (Coleoptera) и биоресурсов (Coleoptera). Северная тайга Западной Сибири и ее сравнение с популяцией жужелиц (Coleoptera: Carabidae) // Русский энтомологический журнал. 2012. Vol. 21. №2. С. 147-155.

6. Марусик Ю.М., Ковблюк Н.М. Пауки Сибири и Дальнего Востока России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 344 с.

7. Питеркина Т.В., Михайлов К.Г. Аннотированный список пауков (Араней) Джаныбекского стационара. Животные глинистой полупустыни Заволжья (конспекты фауны и экологические характеристики). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 62-88.

8. Пономарев А.В., Ивлиев П.П. О фауны пауков (Aranei) дельты Дона // Вестник ЮНЦ РАН. 2008. Vol. 4. №1. С. 61-67.

9. Пономарёв А. В., Хныкин А. С. Пауки (Aranei) Волгограда и его окрестностей //Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 8. №4. С. 109-136.

10. Тищенко В.П. Определитель пауков Европейской части СССР (Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом АН СССР. Вып. 105). Л.: Наука, 1971. 281 с.

11. Хныкин А. С. Сезонные изменения видового состава лесной аранеофауны Волгоградской области // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Волгоград, 2016. С. 343–348.

12. Хныкин А.С. Сезонная динамика численности и видового состава пауков околоводных биотопов Волгоградской агломерации // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы II Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. Соленое Займище, 2017. С. 140–142.

Khnyckin A.S., Ivantsova E.A. Biological Diversity of the Spiders Herpetobiont Population of Degraded Biotopes in Volgograd city and its Surroundings // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2021. № 2(54). С. 63-69. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/08

Khnyckin, A.S. & Ivantsova, E.A. (2021). Biological Diversity of the Spiders Herpetobiont Population of Degraded Biotopes in Volgograd City and its Surroundings. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 63-69. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/08

дата поступления: 22.12.2020 дата принятия: 07.03.2021

УДК 595.461
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/09

Новрузов Н.Э.

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНЫЕ РАЗЛИЧИЯ БИОЭКОЛОГИИ *MESOBUTHUS EUPEUS* (C.L. KOCH, 1839) (ARACHNIDA, SCORPIONES, BUTHIDAE) В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Novruzov N.E.

SIZE-AGE DIFFERENCES IN THE BIOECOLOGY OF *MESOBUTHUS EUPEUS* (C.L. KOCH, 1839) (ARACHNIDA, SCORPIONES, BUTHIDAE) IN AZERBAIJAN

Аннотация. Исследовано биотопическое распределение, размерно-возрастная структура популяции, ночной ритм активности и питание пестрого скорпиона (*Mesobuthus eupeus*). Исследования проводились на левобережье р. Пирсагат (Ширванская равнина, восточный Азербайджан). Все обнаруженные особи скорпионов по длине метасомы были условно распределены на 5 размерно-возрастных групп. Биотопическое распределение пестрого скорпиона носило выраженный агрегированный характер с образованием локальных скоплений (поселений), в которых было выделено 5 типов соотношений размерно-возрастных групп. Установлено, что особи I и II групп имеют унимодальный характер ритма ночной активности, III и IV групп – бимодальный, а V группы – тримодальный. С увеличением размера скорпионов широта спектра питания увеличивается, а интенсивность питания снижается. Индекс элективности в I и II группах имел отрицательные значения, а с III по V группаы по некоторым таксонам жертв – положительные значения. Ведущую роль в питании особей всех размерно-возрастных групп играют представители отрядов Isopoda (Crustacea), Aranei (Arachnida), Hymenoptera и Lepidoptera (Insecta). С увеличением размера скорпионов доля представителей отрядов Hymenoptera, Blattodea и Colembola в их питании снижается. Представители отрядов Coleoptera и Orthoptera отмечены в питании скорпионов III–V групп. Представители отрядов Pulmonata (Gastropoda), Lumbricidae (Oligochaeta), Scolopendromorpha (Chilopoda), Solifugae (Arachnida) присутствуют в питании только у особей IV и V групп.

Ключевые слова: пестрый скорпион, размерно-возрастные группы, биотопическое распределение, ритм активности, спектр питания.

Сведения об авторе: Новрузов Низами Энвер оглы, канд. биол. наук, Институт зоологии Национальной Академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан, niznovzoo@mail.ru

Abstract. The biotopical distribution, size and age structure of the population, nocturnal activity rhythm and feeding of the mottled scorpion (*Mesobuthus eupeus*) were studied. The research was conducted on the left bank of the Pirsagat river (Shirvan plain, Istern Azerbaijan). All discovered individuals of scorpions were divided into 5 size and age groups by the length of the metasome. The biotopical distribution of the mottled scorpion had a pronounced aggregated character with the formation of local clusters (settlements) in which 5 types of ratios of size and age groups were identified. It was found that individuals of II groups and I have unimodal, III and IV groups – bimodal, and V group – trimodal character of the rhythm of nocturnal activity. As the size of scorpions increases, the breadth of the nutrition spectrum increases, and the intensity of nutrition decreases. The index of electivity in II groups and I had negative values, and from III to V groups for some taxa of preys – positive values. Representatives of the orders Isopoda (Crustacea), Aranei (Arachnida), Hymenoptera and Lepidoptera (Insecta) play a leading role in the nutrition of individuals of all size- age groups. As the size of scorpions increases, the proportion of members of the orders Hymenoptera, Blattodea and Collembola in their diet decreases. Representatives of the orders Coleoptera and Orthoptera are noted in the diet of scorpions from group III to V groups. Representatives of the orders Pulmonata (Gastropoda), Lumbricidae (Oligochaeta), Scolopendromorpha (Chilopoda), and Solifugae (Arachnida) are present in the diet only in individuals of IV and V groups.

Keywords*:* mottled scorpion, *Mesobuthus eupeus*, size-age groups, biotopic distribution, rhythm of activity, spectrum of feeding.

About the author: Novruzov Nizami Enver, Ph.D., Institute of Zoology of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan, niznovzoo@mail.ru

Введение. У пестрого скорпиона – *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839) (Scorpiones, Buthidae) – широкий ареал распространения, охватывающий восточную Турцию, Закавказье, юг России, северную часть Сирии, восточный Ирак, Иран, Афганистан, Пакистан, Среднюю Азию, Казахстан, южную Монголию и северный Китай [4; 23]. В Азербайджане встречается почти повсеместно на равнинных, предгорных и горных участках; до высоты 1400 м н. у. м. – в северо-восточной, до высоты 2400 м н. у. м. – в южной части республики [5; 19]. В пределах всего ареала этот вид образует 23 подвида, признанных валидными [24; 27]. В Азербайджане распространен номинативный подвид – *Mesobuthus eupeus eupeus* (C.L. Koch, 1839) [19; 24].

К настоящему времени систематика, морфология, физиология, состав и свойства яда пестрого скорпиона очень подробно исследованы. Однако биология и экология этого вида на всем протяжении

его ареала изучена недостаточно. Отсутствуют данные о возрастной структуре популяции, принципах биотопического распределения разных возрастных групп, характере их ночного ритма активности, интенсивности питания и таксономическом спектре поедаемых жертв в естественных условиях. Это препятствует составлению объективной картины участия вида в пищевых и топических связях с другими беспозвоночными в биоценозе. Цель данной работы – изучение биотопического распределения, ночного ритма активности и питания разновозрастных групп пестрого скорпиона в естественных условиях.

Материалы и методы Изучение биоэкологии пестрого скорпиона осуществлялось в общем объеме плановых исследований таксономической структуры и экологии сообществ наземных членистоногих, проводимых в 2012–2020 гг. В статье частично использованы данные разных лет, но в ее основе лежат материалы полевых исследований 2019 г. на территории левобережья р. Пирсагат (Ширванская равнина, восточный Азербайджан).

Возраст скорпионов устанавливался условно по длине метасомы [13], измерения которой проводилось с помощью прозрачной трубки и цифрового штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. За период исследований сняты промеры с 376 экз. скорпионов, которых затем распределили на 5 размерно-возрастных групп (табл. 1).

Таблица 1

Длина метасомы исследованных экземпляров *M. eupeus* разных размерно-возрастных групп (n=376)

Размерная группа	Предположительная стадия онтогенеза	N	Длина метасомы, мм	
			Lim	M±SD
I	1-2-я линька	133	6,11–8,08	7,00±0,18
II	3-я линька	57	12,06–16,87	14,39±0,64
III	4-я линька	66	17,35–23,87	20,14±0,97
IV	5-я линька	81	24,18–27,70	25,20±0,34
V	6-я линька (Imago)	39	29,23–33,29	31,18±0,80

Примечание. lim – минимальное и максимальное значение; M±SD – среднее значение и стандартное отклонение

Размерно-возрастная структура и распределение особей в поселениях скорпионов были изучены методом учетных площадок [22]. Для этого был выбран сравнительно малопосещаемый и незначительно антропогенно трансформированный участок территории площадью около 20 га, сочетающий полупустынный и сухостепной ландшафты. На схеме участка отмечались места обнаружения скорпионов, определялись размерно-возрастные группы, затем наложением масштабной сетки со стороной квадрата 5 м устанавливалась площадь участка, преимущественная позиция и состав поселения. Для определения характера пространственного распределения объектов использовался индекс агрегированности [7]: $I_A = S/\sqrt{M}$, где S – дисперсия, M – среднее арифметическое. Агрегированному распределению особей соответствовали значения индекса $I_A > 1$.

Для определения степени дискретности возрастных групп в поселении расчитывался индекс дискретности по формуле: $I_D = 1 - M/C$, где M – количество разобщенных возрастных групп; C – общее количество групп.

Оценка размерно-возрастного разнообразия проводилась с использованием показателя возрастной гетерогенности, вычисляемого по формуле: $\nabla = 1/\sum P_i^2$, где ∇ – показатель возрастной гетерогенности, P_i – доля особей i-той возрастной группы. Высокое разнообразие свидетельствовало о стабильности популяции, т.к. различные стадии жизненного цикла обладают неодинаковой устойчивостью к экологическим факторам [3].

Площадь территории, занимаемой каждым поселением, условно делилась на 9 приблизительно равных частей (квадратов). На плане участка отмечалось расположение поселения и «квадрат» обнаружения (позиция) размерной группы (рис. 1). Исследуемая территория имела пространственную неоднородность растительного покрытия и характера микрорельефа поверхности. Неоднородность поверхности почвы биотопа оценивалась по доле (%) травянисто-кустарникового покрытия и перепадам микрорельефа [10]. Особенности распределения микросредовых условий на участке биотопов в местах скоплений скорпионов отражены на фоновых диаграммах уровней (рис. 2). Для построения фоновых диаграмм микрорельефа, отражающей перепады высот местности, применена условная шкала измерения: (-1) – низина, (0) – равнина, (1) – возвышение.

Зависимость распределения и численности скорпионов от микросредовых параметров устанавливалась при помощи коэффициента линейной корреляции Пирсона ®. Динамика ритма ночной активности устанавливалась путем непрерывных ночных наблюдений за объектами в местах их скоплений с предварительным выяснением их численности, возрастной структуры и мечением

укрытий. Наблюдения велись после 18.00 ч вечера и до 8.00 ч утра. Общее количество наблюдаемых особей составило 103 экз. Всего зафиксировано 408 ночных выходов скорпионов из укрытий на поверхность, различающихся по своей продолжительности.

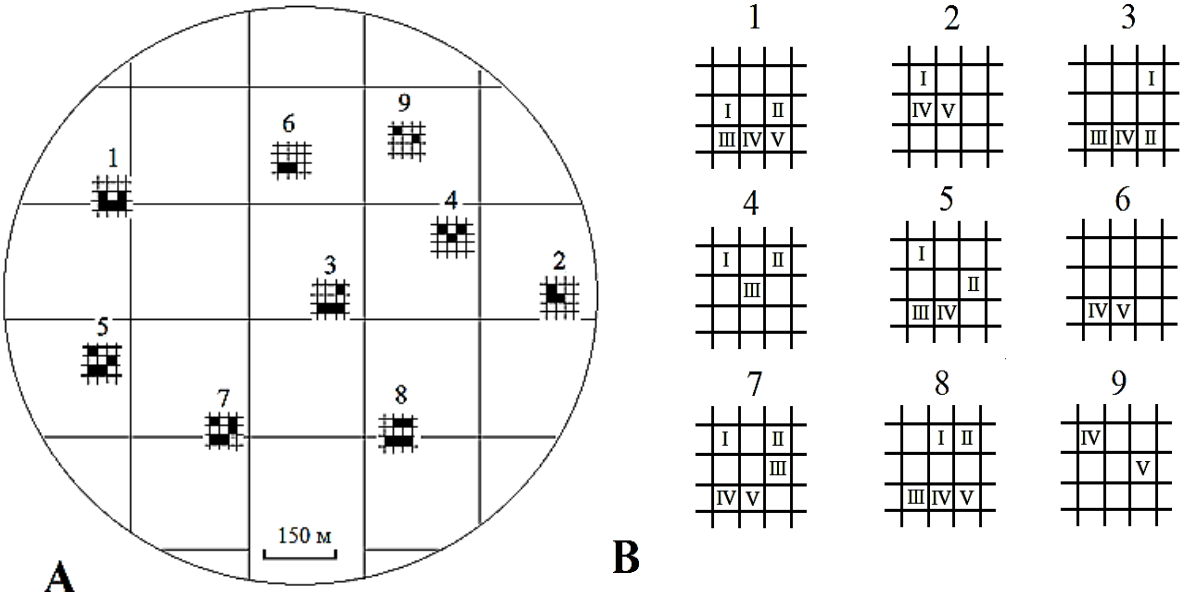


Рис. 1. Расположение поселений пестрого скорпиона на план-схеме участка (А). Позиции размерно-возрастных групп в пространствах поселений (В): 1-9 – поселения; I–V – размерно-возрастные группы

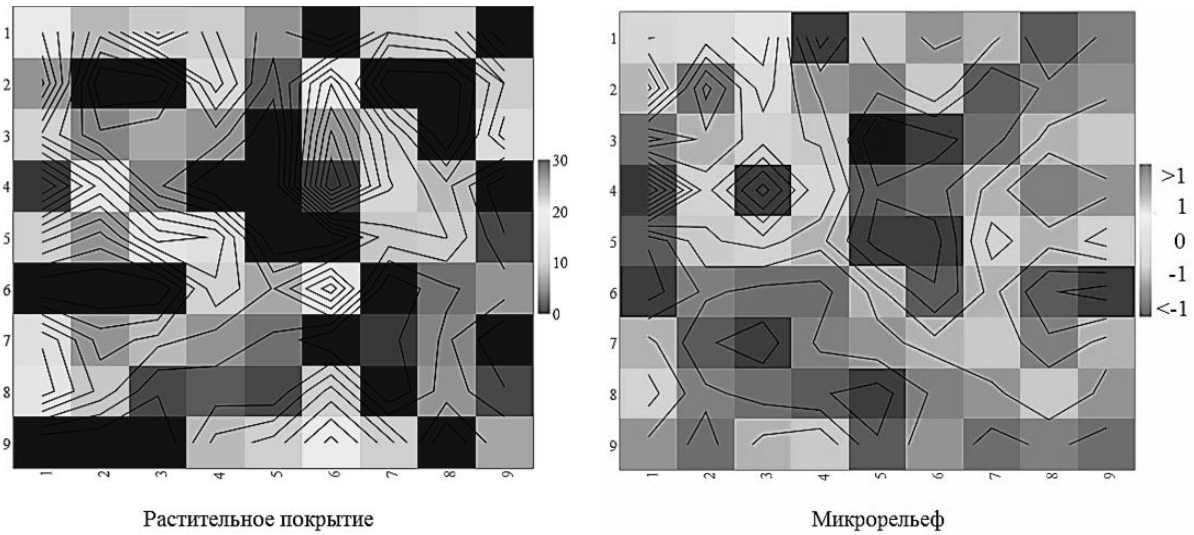


Рис. 2. Распределение микросредовых условий в местах скоплений скорпионов

Питание *M. eupeus* изучалось во все сезоны активности (с мая по сентябрь). Фиксировались все случаи обнаружения скорпионов с добычей на хелицерах на поверхности и в укрытиях. Дополнительно проводился сбор и идентификация хитиновых фрагментов их жертв, обнаруженных в укрытиях хищников. Проанализированы хитиновые остатки 840 экз. членистоногих, пригодных для идентификации (преимущественно насекомых). Объекты в основном определялись до отряда и семейства. Проведены визуальные наблюдения за 164 особями скорпионов в процессе охоты и поедания добычи. Для выяснения интенсивности питания объекты исследования взвешивались до и после ночной активности на портативных электронных весах с точностью до 0,01 г. Всего проведено 328 взвешиваний.

Определялся таксономический состав и частота встречаемости беспозвоночных в биотопах с использованием стандартных энтомологических методов учета: маршрутного, ручного сбора, биоценометрии [6; 15]. Визуальный учет на пеших маршрутах использовали для учета отдельных групп (прямокрылые, равнокрылые, сетчатокрылые). Протяженность маршрутов – 200 м, ширина маршрутной ленты – 2 м. Ручной сбор проводился на площадках 25 м^2 с поверхности почвы и в укрытиях. Биоценометрия проводилась следующим образом: исследуемый участок поверхности

накрывался деревянной рамкой площадью 1 м^2 со съемным мешком из плотной ткани, стянутым в верхней части. Через горловину мешка проводился сбор всех обнаруженных беспозвоночных. Ловушки (пластиковые стаканы объемом 250 мл) устанавливались в количестве 20 шт на 100 м (по одной на каждые 5 м) с экспозицией 5 дней. Объекты определялись в основном до отрядов и семейств, реже до рода и вида.

Значимость тех или иных представителей фауны беспозвоночных в питании скорпионов устанавливалась вычислением индекса элективности [9]: $I_E = (r - p)/(r + p)$, где r – процентное значение объекта в составе пищи; p – процентное содержание объекта в биотопе. Первичные данные обработаны методами вариационной статистики в программе Microsoft Excel 2010. Построение фоновых диаграм с линиями уровней распределения и кластерный анализ проведены в программе PAST 3.26.

Результаты. На выбранной для исследований незначительно антропогенно трансформированной и не испытывающей пастбищной нагрузки части территории пестрый скорпион встречался на сероземных участках с ксерофитной, сухостепной, степной и псаммофитной растительностью. Скорпионы отмечались преимущественно агрегировано, образуя разные по численности и размерно-возрастному составу скопления (поселения) – 21–68 экз. (40,67±5,73), занимающие небольшие по площади участки пространства поверхности почвы – 29–85 м^2 (45,07±2,80). Агрегированность их распределения (I_A) варьировала от псевдоагрегированной (1,03–1,09) до агрегированной (1,21–1,63; M=1,35±0,10). Существенной зависимости плотности населения скорпионов от растительного покрытия и микрорельефа биотопов не выявлено (рис. 3).

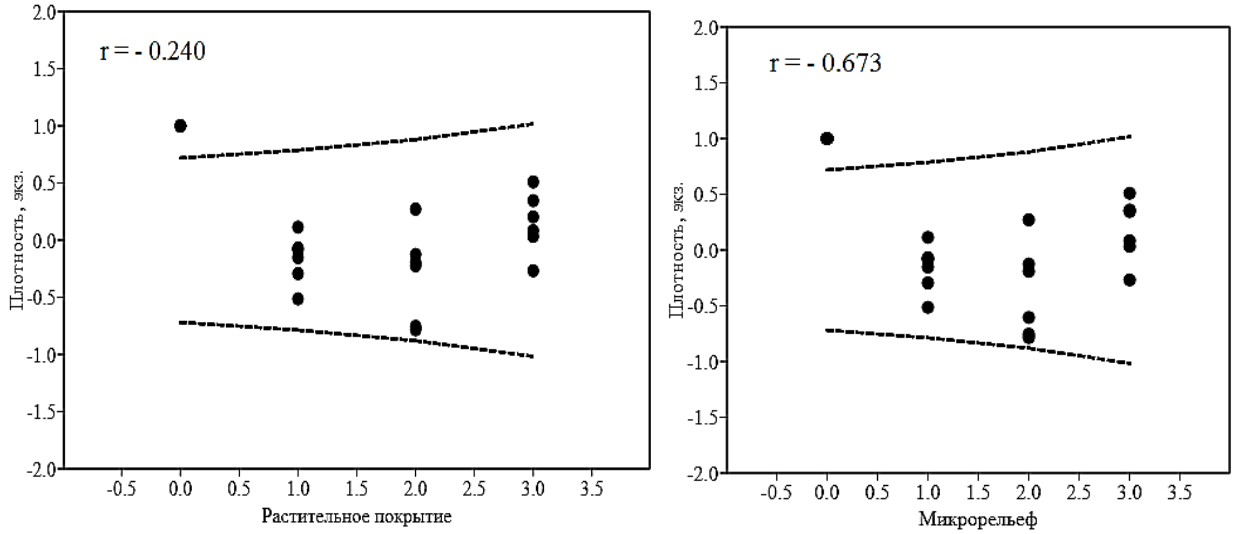


Рис. 3. Корреляция плотности населения скорпионов с микросредовыми условиями биотопа

На обследованном участке было отмечено 9 скоплений (поселений) пестрого скорпиона, дистанцированных друг от друга расстоянием не менее 130 м. Всего за время исследований отмечено 376 экз. скорпионов пяти размерно-возрастных групп (I–V). Численность размерных групп в каждом из обнаруженных поселений представлена в таблице 2, а их распределение на рисунке 4.

Таблица 2

Численность и соотношение возрастных групп *M. eupeus*

Поселение	Общая численность	Численность *M. eupeus* разных возрастных групп (абс./отн. %)					Показатель возрастной гетерогенности
		I	II	III	IV	V	
1	68	19/27,9	9/13,2	22/32,3	11/16,1	7/10,2	5,74
2	44	25/56,8	–	–	15/34,0	4/9,1	4,89
3	34	13/38,2	6/17,6	8/23,5	7/20,5	–	4,07
4	54	30/55,5	18/33,3	6/11,1	–	–	4,21
5	53	12/22,6	7/13,2	18/33,9	16/30,1	–	4,30
6	21	–	–	–	13/61,9	8/38,1	1,60
7	44	16/36,3	7/15,9	9/20,4	7/15,9	5/11,3	5,57
8	37	18/48,6	10/27,0	3/8,1	3/8,1	3/8,1	8,31
9	21	–	–	–	9/42,8	12/57,1	1,51
Всего	376	133	57	66	81	39	40,2

Для оценки сходства и различия структуры поселений скорпионов на сравниваемых участках территории был использован кластерный анализ сходства Брея-Кертиса. Полученные результаты представлены в виде дендрограммы (рис. 5).

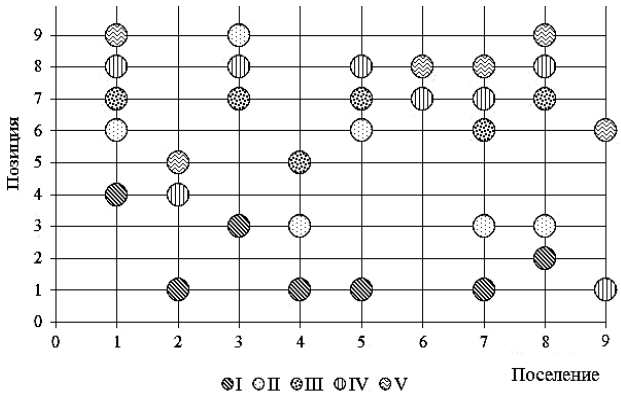


Рис. 4. Распределение размерно-возрастных групп в поселениях *M. eupeus*

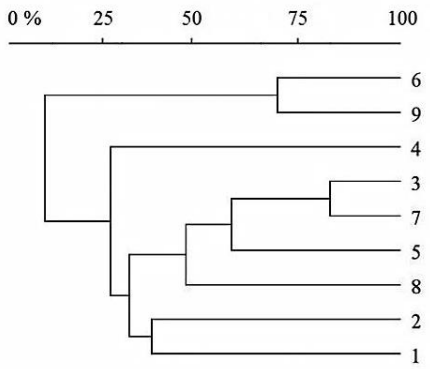


Рис. 5. Дендрограмма сходства и различия структуры сравниваемых поселений (1–9) пестрого скорпиона

По трем критериям оценки (размерно-возрастной состав, численное доминирование групп и степень их разобщенности (индекс I_A) выделено 5 типов поселений пестрого скорпиона: 1) присутствие всех 5 групп с доминированием I, II (48,6 и 27,0%) или I, III (27,9 и 32,3%), индекс разобщенности – 0,20–0,60; 2) присутствие I–IV групп с доминированием I, III (23,5 и 38,2%) или III, IV (30,1 и 33,9%), индекс разобщенности – 0,25; 3) присутствие I, IV, V групп с доминированием I, IV (56,8 и 34,0%), индекс разобщенности – 0,33; 4) присутствие I, II, III групп с доминированием I, II (55,5 и 33,3%), индекс разобщенности – 0,33; 5) присутствие IV, V групп с доминированием IV (61,9%) или V (57,1%), индекс разобщенности 0–0,50.

Полученная дендрограмма демонстрирует наибольшее сходство поселений 3 и 7 (81,2%), наименьшее – поселений 1 и 2 (38,4%).

В ночное время скорпионы ведут активный образ жизни на поверхности, совершают дальние прогулки, охотятся на других беспозвоночных, занимаются поиском брачных партнеров в период размножения. Исключение могут составлять животные, проходящие процесс линьки и самки, вынашивающие потомство, вынужденные на протяжении нескольких недель прятаться в облюбованных заранее убежищах. В мае-июне ввиду отсутствия пополнения (сравнивались только II–V возрастные группы) сбор данных осуществлялся раз в 5 дней и ограничивался фиксированием количества активных особей на поверхности (рис. 6). Среднесуточная температура в мае-июне на поверхности почвы менялась от 16 до 49°С, в укрытиях от 18 до 21°С. Пик максимума среднесуточной температуры на поверхности почвы в мае приходился на 15–16 часов, минимума – на 02 ч, а в июне поверхность почвы максимально прогревалась к 13 часам, а минимум температуры приходился на 04 ч. В укрытиях за все время наблюдений температура достигалась своего максимума только к 17 часам, а минимума к 06 часам. Ввиду этого продолжительность ночной активности проходила по сокращенному сценарию: около 3 ч – у скорпионов II, III групп и 4 ч – у скорпионов IV, V групп.

Исследование почасовой динамики ночной активности скорпионов было начато с появлением пополнения (2–3 декада июля) и проводилось в августе-сентябре путем непрерывных ночных наблюдений за объектами в местах их скоплений.

Ночная активность *M. eupeus* по данным на август отмечалась с 19 ч и до 06 ч. Для особей I и II групп отмечен унимодальный (19–23 ч), для III и IV групп бимодальный (20–01ч; 03–07 ч), а для особей V группы – тримодальный (21–23 ч; 01–02 ч; 04–06 ч) характер ночной активности (рис. 7). Продолжительность ночной активности в I и II группах была 3–4 ч, III группе – до 8 ч, IV группе – 6–7 ч, в V группе – 5–6 ч. По общей продолжительности ночной активности самцы IV и V групп незначительно превосходили самок, но по мобильности и дистанцированности удалений от дневного укрытия значительно (в 2–3 раза) превалировали над ними.

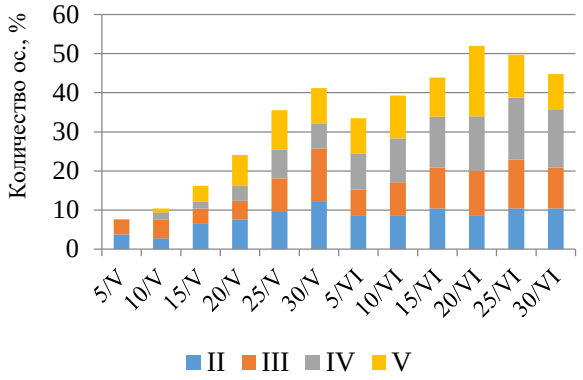


Рис. 6. Ночная активность скорпионов в мае-июне

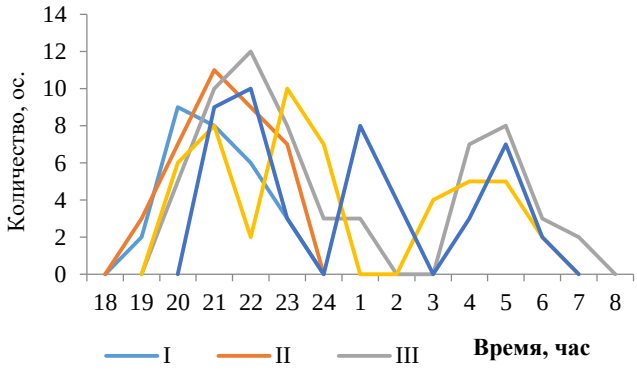


Рис. 7. Возрастные различия ритма ночной активности M. eupeus (I–V – размерно-возрастные группы)

Спектр питания *M. eupeus* в обобщенном виде включал представителей 5 классов, 16 отрядов и 26 семейств. При этом, с увеличением длины тела особей, увеличивалась и широта спектра их питания. Спектр питания I группы представляли 8 отрядов, 12 семейств; II группы – 9 отрядов, 14 семейств; III группы – 13 отрядов, 18 семейств; IV группы – 16 отрядов, 26 семейств; V группы – 15 отрядов (исчезают Hymenoptera), 25 семейств.

По частоте встречаемости объектов в пище общим сходством для всех размерно-возрастных групп было преобладание представителей отрядов Isopoda (15,24±1,71%) и Aranei (11,48±0,55%). С увеличением размеров скорпионов сокращается частота встречаемости в пище представителей Hymenoptera (с 22,2 до 2,7%), Collembola (с 15,3 до 1,8%), Zygentoma (с 11,1 до 5,1%), и возрастает частота встречаемости Isopoda (с 12,8 до 20,5%). Встречаемость Aranei изменяется в небольших пределах (10,2–12,9%).Представители отрядов Opiliones, Orthoptera и Coleoptera начинают встречаться только с III возрастной группы и старше, а отрядов Pulmonata, Lumbricidae, Scolopedromorpha, Dermaptera, Mantodea и Neuroptera – у особей IV и V групп (рис. 8).

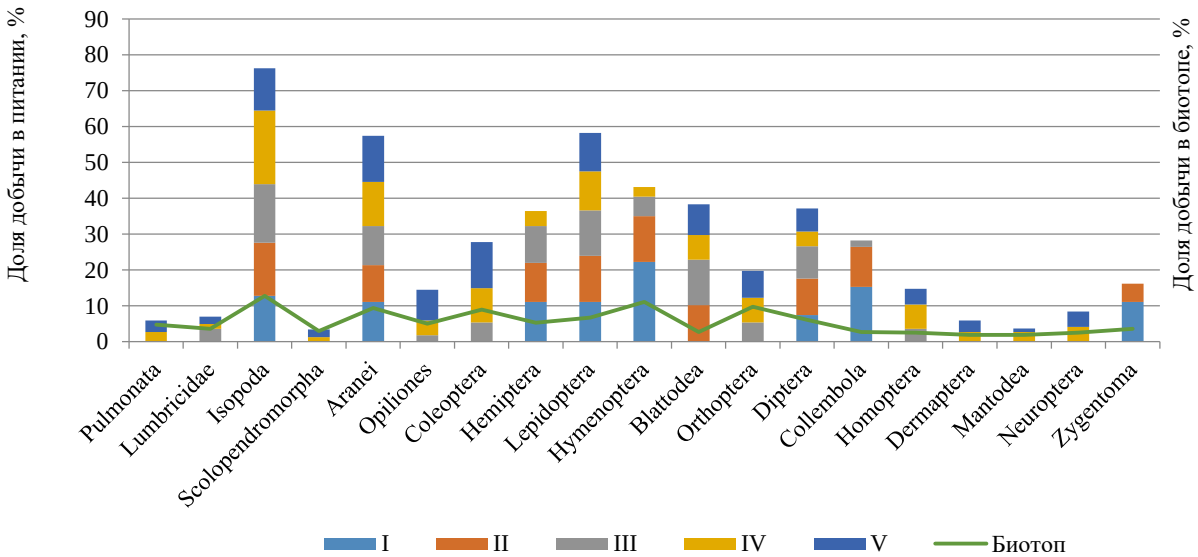


Рис. 8. Состав жертв в пище M. eupeus разных возрастных групп и в биотопе, %

Сравнение интенсивности питания разных размерно-возрастных групп, установленное по массе съеденной пищи, также показало значительные различия. По массе съеденной пищи лидировали скорпионы II и III групп, в среднем потребляя за сутки 39,1 и 47,2 % от собственной массы, скорпионы I группы за сутки потребляли в пищу в среднем 19,7 %, а IV и V групп – 17,4 и 17,1 % (табл. 3).

Таблица 3

Масса тела *M. eupeus* разных возрастных групп до и после ночной активности (n=164)

Размерная группа	n	Масса тела, г		% от массы Тела
		До охоты	После охоты	
I	35	0,012–0,020/0,015	0,019–0,026/0,022	19,7
II	28	0,040–0,074/0,054	0,053–0,081/0,065	39,1
III	40	0,240–0,560/0,342	0,340–0,710/0,452	47,2
IV	36	0,750–1,203/0,975	0,901–1,370/1,121	17,4
V	25	0,950–2,704/1,990	1,031–3,160/2,213	17,1

При сравнении таксономического спектра питания разных размерных групп в разные сезоны активности установлено, что спектр питания определялся как составом и численностью доступных жертв, так и возрастом и отчасти полом скорпиона. Сопоставление состава питания молодых и половозрелых скорпионов выявило значительное изменение таксономического спектра пищи и размеров добычи в разные месяцы. В мае по ширине спектра питания лидировали скорпионы III и IV групп (30,2 и 29,5% соответственно), в июне – IV группы (28,9%), в июле – V группы (31,3%), в августе – II группы (29,1%), а в сентябре – II и IV групп (по 26,3%). Скорпионы I группы обнаруживались в биотопе не ранее середины июля, поэтому сезонность их питания не рассматривалась. Рацион остальных размерно-возрастных групп в основном формировался за счет беспозвоночных, имеющих сходную с ними ритмику сезонной активности (рис. 8).

В летние месяцы трофическая активность скорпионов на поверхности отмечалась преимущественно в сумеречно-ночные часы. В мае и сентябре пищевая активность на поверхности сокращалась по продолжительности и смещалась на вечерне-ночные часы (18–22 ч). По мере увеличения размера скорпионов их пищевой спектр таксономически менялся, прежде всего, за счет потребления более массовых и доступных по размерам видов добычи. Максимальные размеры жертв у взрослых особей не превышали 48 мм, основу же питания при этом составляли относительно мелкие виды, длина которых составляла 15–20 мм.

Как уже отмечалось, спектр жертв у скорпионов IV и V групп почти в два раза шире, чем у особей I и II групп. Существенно различается у разных возрастных групп скорпионов удельная доля отдельных отрядов их жертв (рис. 9). Виды семейство. Acrididae (Ortopthera), занимающие одно из доминирующих положений в энтомофауне биотопа (9,7%), почти не входят в рацион взрослых скорпионов (7,5%) несмотря на не слишком крупные размеры (2,5–3 см) и относительную мякость покровов. В то же время Coleoptera отмечены в рационе практически всех взрослых особей (95%). Изменение спектра жертв пестрого скорпиона с увеличением возраста наиболее ярко отражается в увеличении удельной доли и числа видов жесткокрылых – от 1,8% (III группа) и 9,5% (IV группа) до 12,9% у половозрелых особей (V группа).

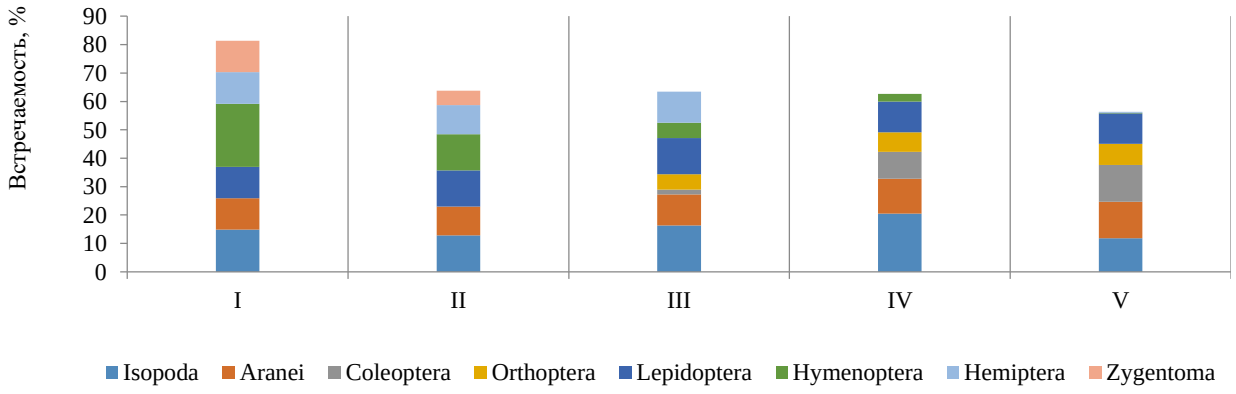


Рис. 9. Изменение спектра питания M. eupeus разных возрастных групп по основным таксонам жертв

В рационее скорпионов I группы доминируют Hymenoptera (22,2%, в основном Formicidae) и Isopoda (14,8%, в основном Armadillididae и Porcellionidae). Реже отмечаются Diptera (7,4%). В рационе скорпионов II группы обнаружено 9 крупных таксонов кормовых объектов. Доминирующее положение занимают Collembola (15,3%). Часто отмечались ракообразные Isopoda (12,8%) и личинки Lepidoptera (12,7%). В рационе данной группы впервые появляются Blattodea (10,2%), представленные в основном личинками *Blatta orientalis* и *Phylodromica sp*. Пищевой спектр скорпионов III и IV групп более

разнообразен и представлен 13–16 крупными таксонами кормовых объектов. Наиболее часто встречались Isopoda (16,3 и 20,5% соответственно) и личинки Lepidoptera (12,7 и 10,9% соответственно). В этих возрастных группах уже появляются, хотя не являются доминантами в рационе Coleoptera (до 9,5%) и Orthoptera (5,4 и 6,8% соответственно). Значительную долю в рационе занимают Aranei (10,9 и 12,3%), Blattodea (12,7 и 6,8%). Остальные пищевые объекты в рационе скорпионов составляли менее 4%.

Примечательно, что доминирующую группу жесткокрылых (12,9%), собранных в укрытиях взрослых особей, в основном самок V группы, составляют достаточно крупные виды семейства Tenebrionidae (15–25 мм) с плотными хитиновыми покровами. У половозрелых скорпионов значительно увеличивается, и доля Orthoptera (с 5,4 до 7,5%). У скорпионов III, IV групп они представлены личинками Acrididae, а у половозрелых особей V группы к ним присоединяются Gryllotalpidae – обитатели верхних слоев почвы, выходящие на поверхность исключительно в сумеречно-ночное время. Отметим, что большинство объектов, представленых в питании взрослых скорпионов (V группы), относятся к видам с сумеречной и ночной активностью Armadillididae и Porcellionidae (Isopoda), Gryllotalpidae, Oecanthidae (Orthoptera), Blattidae, Blattelidae (Blattodea). Основу рациона ювенильных особей (I группа) примерно в равной степени составляют виды с дневной и сумеречно-ночной активностью – Porcellionidae, Armadillididae (Isopoda), Miridae (Hemiptera), Formicidae (Hymenoptera). Увеличение доли Lepidoptera (11,1–12,8%) в пище особей *M. eupeus* I–III групп происходит исключительно за счет личиночных стадий, имаго отмечены только у единичных особей IV и V групп. По мере увеличения размера скорпионов доминирующую позицию теряют представители отрядов Hemiptera (с 11,1 до 4,2%) и Hymenoptera (с 22,2 до 2,7%). Последние в основном за счет Formicidae составляли основу рациона особей I группы (22,2%), а у половозрелых – всего 2,7%. Практически неизменной остается доля Aranei (11,1–12,9%), представленных 4 семействами. Не составляют исключения и сами скорпионы, остатки которых единично (0,6%) отмечались в основном в укрытиях предадультных и адультных самок.

Для выявления избирательной способности скорпионов (индекс элективности) было проведено количественное и качественное сравнение встречаемости беспозвоночных в их пище и в биотопе. По индексу элективности определена положительная избирательность к некоторым группам жертв. Индекс элективности в I и II группах имел отрицательные значения (за исключением Collembola во II группе), а в III, IV и V группах по 4–7 таксонам жертв – положительные значения (табл. 4).

Таблица 4

Значения индекса элективности для таксонов добычи *M. eupeus*

Таксон добычи	Индекс элективности размерно-возрастных групп					Таксон добычи	Индекс элективности размерно-возрастных групп				
	I	II	III	IV	V		I	II	III	IV	V
Lumbricidae	–	–	-0,20	-0,50	-0,20	Diptera	-0,55	-0,27	-0,16	-0,40	-0,07
Pulmonata	–	–	–	-0,55	-0,40	Coleoptera	–	–	-0,25	0,16	0,41
Isopoda	-0,20	-0,09	0,20	0,42	0,29	Lepidoptera	-0,33	-0,09	0,07	0,14	0,25
Chilopoda	–	–	–	-0,60	-0,33	Blattodea	–	-0,20	0,07	-0,09	0,14
Aranei	-0,33	-0,20	0	0,20	0,33	Collembola	-0,14	0,20	-0,60	-	-
Opiliones	–	–	-0,60	-0,14	0,33	Mantodea	–	–	–	-0,20	-0,50
Dermaptera	–	–	–	-0,33	-0,14	Zygentoma	-0,33	-0,50	–	–	–
Orthoptera	–	–	-0,33	-0,09	0,07	Neuroptera	–	–	–	-0,25	-0,11
Hemiptera	-0,25	-0,11	0,09	–	–	Homoptera	–	–	-0,50	-0,09	-0,20
Hymenoptera	-0,07	-0,16	-0,40	-0,55	–						

Обсуждение. *Биотопическое распределение и размерно-возрастная структура популяции.* Пестрый скорпион относится к числу типичных обитателей пустынных, полупустынных и степных биотопов. Своей нишей избрал сероземные, песчаные и каменистые полупустынные участки, в которых предпочитает готовые укрытия в виде крупных и средних камней, трещин в почве, нор мышевидных грызунов и т.п. В сочетании с небольшими самостоятельно вырытыми норами все эти укрытия вполне обеспечивают ему защиту от естественных врагов и неблагоприятных климатических факторов в дневное время и в период зимовки [5].

Для *M. eupeus* не отмечены периодические резкие увеличения численности, чередующиеся с периодами депрессии, характерные у некоторых других паукообразным, например, Solifugae, Aranei [2; 14]. Однако некоторые колебания численности все же отмечены, что предположительно связано с изменением гигротермических условий среды, подъемом и депрессией численности некоторых базисных кормовых объектов в биотопе (Orthoptera, Lepidoptera, Homoptera) [1; 18; 20]. Так,

проведение учета численности в разные годы показало изменчивую плотность поселений скорпионов: в 2013 г/ – 30,0±4,34 экз./100 кв.м., в 2014 г/ – 28,33±5,93 экз./100 кв.м., в 2016 г/ – 22,17±5,09 экз./100 кв.м. Разобщенность возрастных групп в послениях, вероятно, связана с онтогенетическими особенностями распределения разновозрастных особей [26]. Так, например, собственными наблюдениями было отмечено, что нимфы пестрого скорпиона вплоть до 2-ой линьки держатся вместе, т. к. в течение некотого времени посре рождеия у них сохраняется «эффект группы» (Allee effect) [21]. Заметное разобщение особей происходит только после 3-ей линьки.

О сроках появления потомства у пестрого скорпиона сведения в литературе разноречивы и охватывают период с мая по сентябрь [11; 12; 14]. Появление новорожденных скорпионов в условиях равнинного Азербайджана происходит с конца мая до середины июля [20; 19]. Ввиду этого изучение размерно-возрастной структуры поселений скорпионов проводилось в августе-сентябре с тем, чтобы во время исследований в материале присутствовали все возрастные категории. Биотопическое распределение пестрого скорпиона имело выраженный агрегированный характер с образованием локальных скоплений (поселений). Выделено 5 типов поселений по соотношениям и степени дискретности разных размерно-возрастных групп. От степени дискретности обитания разных возрастных групп в поселениях, предположительно, может зависеть пространственное распределение вида, т. к. при этом варьирует острота внутривидовой конкуренции в силу различия их ритма активности и пищевых предпочтений [26]. При достаточно изолированном обитании разных возрастных групп ($I_D > 0$), в каждой из них чаще должны выживать особи менее сходные с особями другой группы. Поэтому с увеличением дивергенции между группами ослабляется конкуренция [17].

Теоретически можно предположить и другие типы биотопического распределения вида, для их выделения необходимы дополнительные данные, на сбор которых потребуется больший объем исследований с охватом значительных территорий. Но даже обнаружение 5 указанных типов распределения позволяет предположить участие в механизме формирования структуры поселений скорпионов ряда факторов. Например, таких, как разные типы почвы и микроклиматические условия в укрытиях, неравномерность распределения кормовых объектов в биотопе, прессинг хищников, индивидуальность онтогенетического развития скорпионов и их естественная элиминация.

Суточный ритм активности. Принято считать, что скорпионы совершенно не выносят света и в естественных условиях проводят светлую часть суток в различных укрытиях, появляясь на поверхности только в сумеречно-ночное время. Их ритмическая активность имеет строго 24-часовую периодичность, которая тесно связана с суточной сменой дня и ночи [26]. В литературе по активности пестрого скорпиона в условиях Азербайджана сведения ограничиваются указанием, что они активны исключительно в ночное время и выходят из убежищ после захода солнца [19]. В данных по другим частям ареала их обитания указывается общая продолжительность ночной активности без указания возраста или размеров отмеченных особей [12; 16]. Для получения собственных данных по динамике ночной активности разных возрастных групп проводились непрерывные ночные наблюдения за особями с фиксированием маршрутов их передвижения и основных укрытий. По данным на август-сентябрь, первыми на поверхности (преимущественно возле укрытий) в 19 часов отмечались скорпионы I и II групп. В промежутках между 21–23 ч, 01–02 ч и 04–06 ч встречались взрослые особи. Период их ночной активности независимо от результатов охоты, завершался к 06 часам утра. Скорпионы III группы из дневных укрытий выходили ближе к заходу солнца и в сумерках (20 ч) и отмечались на поверхности в промежутках 20–01 ч и 04–07 часов. Таким образом, к периоду появления на поверхности взрослых скорпионов активность молодых (II группы) была снижена, а представители I группы практически не встречались. По продолжительности ночной активности лидирует III группа (8 ч), что согласуется с их лидерством по интенсивности питания. Несколько уступают ей особи IV и V группы (6–7 и 5–6 ч). Продолжительность ночной активности скорпионов I и II групп не превышала 4 ч.

*Сравнение питания размерно-возрастных групп пестрого скорпиона***.** Исследования разных авторов, проведенные в лабораторных условиях, показывают лишь размерные различия жертв у пестрого скорпиона в зависимости от возраста особей [8; 19]. По таксономическим различиям спектров питания возрастных групп данные отсутствуют. В ходе собственных исследований в их рационе установлено от 36 до 50 видов, в число которых входили преимущественно представители Isopoda, Insecta и Aranei. Все размерно-возрастные группы данного вида объединяет отсутствие специализации к каким-либо определенным видам добычи. В то же время отмечено предпочтение одних групп таксонов членистоногих и избегание других. Наибольшая частота встречаемости Hymenoptera отмечена у скорпионов I группы (22,2%). Так, например, из 16 видов Formicidae, обнаруженных в районе исследования, в рационе скорпионов I–III групп отмечены только три – *Tapinoma* sp., *Messor*

sp., *Tetramorium* sp. Причем при поедании муравьев скорпионы всегда ограничивались головной и гудной частями жертвы, оставляя нетронутым брюшко. Из насекомых в равной степени предпочитались отряды Diptera, Homoptera, Hemiptera, Collembola, Ephemeroptera, личинки Coleoptera, Lepidoptera, Blattodea и Ortoptera. В меньшей степени использовались в пищу имаго Hymenoptera и Coleoptera. Из отряда Aranei можно отметить представители семейств Tetragnathidae, Theridiidae, Clubionidae, Araneidae, Linyphiidae, Lycosidae, Thomisidae и Salticidae.

На предпочтение жертв определенных таксонов указывает, и доля их остатков в укрытиях скорпионов. Так, например, доля остатков Opiliones, Coleoptera, Lepidoptera (larve), Hymenoptera и Isopoda по отношению к другим группам в укрытиях скорпионов превышала долю этих беспозвоночных по отношению к другим группам в биотопе. В укрытиях с большей частотой отмечались остатки Orthoptera, Aranei, Coleoptera, Diptera и Hymenoptera. По коэффициенту элективности определена положительная избирательность к указанным группам жертв у скорпионов старших возрастных групп и отрицательная у младших групп. По интенсивности питания скорпионов в литературе приводятся данные, полученные в условиях лаборатории, и указывающие, что она подвержена изменениям в зависимости от температурных условий, прохождения жизненно важных биологических циклов (линька, размножение, гибернация) [19]. Наиболее благоприятный температурный градиент для пищевой активности *M. eupeus,* указанный в литературе, составлял 25–30° С [19]. Большинство скорпионов предпочитают температуры от 18 до 35° С, но для каждого из видов отмечен свой диапазон температур, при котором трофическая активность проявляется чаще всего [25]. По собственным данным, пищевая активность пестрого скорпиона в естественных условиях проявлялась в более широком диапазоне температур – 12–35° С, достигая своего максимума при температурах 26–28º С. Интенсивность питания скорпионов, исследованная в естественных условиях, отличалась у особей разных размерно-возрастных групп с явным лидерством особей II и III групп (39,1 и 47,2%), что предположительно объясняется большей динамикой процессов роста на этих стадиях развития.

Заключение. Исследование битопического распределения, ночного ритма активности и питания 5 размерно-возрастных групп пестрого скорпиона (*Mesobuthus eupeus*) выявило разобщенность возрастных групп в поселениях, различия продолжительности и почасового ритма активности и пищевых предпочтений. Биотопическое распределение пестрого скорпиона имело выраженный агрегированный характер с образованием локальных скоплений (поселений). Выделено 5 типов поселений по соотношениям и степени разобщения разных размерно-возрастных групп. Установлена некоторая асинхронность в продолжительности и динамике ночного ритма активности особей разных размерно-возрастных групп. Особи I и II групп имели унимодальный характер ночной активности, III и IV групп – бимодальный, а V группы – тримодальный. По продолжительности ночной активности лидируют особи III группы. С увеличением размера скорпионов интенсивность питания уменьшается, а широта спектра питания и индекс элективности увеличивается. Индекс элективности в I и II группах имел отрицательные значения, а с III по V группах по некоторым таксонам жертв – положительные значения. Ведущую роль в питании скорпионов играют представители классов Crustacea (отряд Isopoda), Arachnida (отряд Aranei), Insecta (отряды Hymenoptera, Lepidoptera). С увеличением размеров скорпионов доля Hymenoptera, Blattodea и Collembola в их питании снижается. Представители отрядов Coleoptera, Orthoptera встречаются у особей III и IV групп, с длиной метасомы более 27,0 мм. Представители отрядов Lumbricidae (Oligochaeta), Pulmonata (Gastropoda), Chilipoda (Miriapoda), Solifugae (Arachnida) присутствуют в питании только особей IV, V групп.

Автор выражает искреннюю признательность своим коллегам по работе за помощь в определении материала и ценные советы, и замечания, сделанные в процессе подготовки рукописи.

Литература

1. Алиев Х.А., Гусейнов Э.Ф., Топчиева Ш.А., Мусаева А.Н. Влияние экологических факторов на размеры скорпионов // Ekologiya, Fəlsəfə, Mədəniyyət. Elmi məqalələr məcmuəsi, 38-ci buraxılış, Bakı, 2004. С. 154-155.

2. Алиев Ш.И. Сольпуги (Arachnida, Solifugae) Азербайджана: Автореф. дис…канд. биол. наук. Баку. 1984.

3. Бигон М., Харпер Дж., Таузенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т. 1. М.: Мир. 1989.

4. Бялыницкий-Бируля А.А. Arachnoidea Arthrogastra Caucasica. Ч. I. Scorpiones. Записки Кавказского музея, Тифлис, А (5). 1917. 253 с.

5. Гаджиев А.Т. Скорпионы // Животный мир Азербайджана. Т. 2. Баку: Элм. 1996.

6. Гиляров М.С. Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука. 1975.

7.Гиляров М.С. Фауна и экология почвенных беспозвоночных Московской области. М.: Наука. 1983.

8. Гусейнов Э.Ф., Алиев Х.А., Топчиева Ш.А., Мусаева Н.Н. Сравнение пищи пауков (Araneae) и скорпионов (Scorpiones) // Экология. Философия. Культура. Вып. 38. Баку. 2004. С. 25-26.

9. Ивлев В.С. Экспериментальная экология питания рыб. М.: Пищепромиздат. 1955.

10. Кашкаров Д.Н. Среда и сообщество (основы синекологии). М. 1933.

11. Кобахидзе Д.Н. К нахождению пестрого скорпиона на обращенных к Черному морю склонах Главного Кавказского хребта // Зоологический журнал. 1960. Т. 39. №10. С. 1573–1574.

12. Малинина О.В. Mesobuthus eupeus, образ жизни // Природа. 1953. №10. С. 82–85.

13. Мариковский П.И. Материалы по биологии и ядовитости скорпиона Buthus eupeus (C. Koch) // Труды Института зоологии АН Казахской ССР. 1981. Т.II. С. 160–166.

14. Мариковский П.И. Тарантул и каракурт. Фрунзе. 1956.

15. Тихомирова А.Л. Учет напочвенных беспозвоночных // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука. 1975. С. 73–85.

16. Фет В.Я. К экологии скорпионов (Arachnida, Scorpiones) юго-восточных Каракумов // Энтомологическое обозрение. 1980. LIX. Т. 1. С. 223–228.

17. Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции (теория стабилизирующего отбора). М.: Наука. 1968.

18. Юсифов Э.Ф., Мамедов А.А., Новрузов Н.Э., Халилова В.С. Модель динамики численности паукообразных в спектре их межвидовых конкурентных отношений // Математическое моделирование. 2019. Т. 31. №4. С. 131–144.

19. Юсубов Э.Б. Скорпионы (Arachnidae, Scorpiones) Азербайджана: Автореф. … канд. биол. наук. Баку. 1984.

20. Юсубов Э.Б., Гаджиев А.Т. О численности скорпионов в Азербайджане // Полезные насекомые и их охрана в Азербайджане: Материалы симпозиума. Баку: Элм. 1983. С. 33–34.

21. Allee W.C., Bowen E.S. Studies in animal aggregations: mass protection against colloidal silver among goldfishes // Journal of Experimental Zoology. 1932. Vol. 61. №2. P. 185-207. https://doi.org/10.1002/jez.1400610202

22. Don B.A. C., Rennolls K. A home range model incorporating biological attraction points // The Journal of Animal Ecology. 1983. P. 69-81. https://doi.org/10.2307/4588

23. Fet V. A catalogue of scorpions (Chelicerata: Scorpiones) of the USSR // Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali “Enrico Caffi”. 1989. Vol. 13. P. 73-171.

24. Fet V., Sissom W.D., Lowe G., Braunwalder M.E. Catalog of the scorpions of the world (1758-1998). New York Entomological Society, 2000.

25. Hadley N.F. Adaptational biology of desert scorpions // Journal of Arachnology. 1974. P. 11-23.

26. Polis G. A. Seasonal patterns and age-specific variation in the surface activity of a population of desert scorpions in relation to environmental factors // The Journal of Animal Ecology. 1980. P. 1-18. https://doi.org/10.2307/4275

27. Teruel R. First record of Mesobuthus eupeus (Koch, 1839) from western Turkey (Scorpiones: Buthidae) // Revista Ibérica de Aracnologia. 2002. Vol. 5. P. 75-76.

References

1. Aliev, Kh.A., Guseinov, E.F., Topchieva, Sh.A., & Musaeva, A.N. (2004). Vliyanie ekologicheskikh faktorov na razmery skorpionov. Ekologiya, Fəlsəfə, Mədəniyyət. *Elmi məqalələr məcmuəsi*, 38, Baku, 154-155.

2. Aliev, Sh.I. (1984). Sol’pugi (Arachnida, Solifugae) Azerbaidzhana. Baku.

3. Bigon, M., Kharper, Dzh., & Tauzend, K. (1989). Ekologiya. Osobi, populyatsii I soobshchestva. 1. Moscow.

4. Byalynitskii-Birulya, A.A. (1917). Arachnoidea Arthrogastra Caucasica. I. Scorpiones. *Zapiski Kavkazskogo muzeya*, Tiflis.

5. Gadzhiev, A.T. (1996). Skorpiony. In *Zhivotnyi mir Azerbaidzhana*, 2. Baku.

6. Gilyarov, M.S. (1975). Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovanii. Moscow. (in Russ.).

7.Gilyarov, M.S. (1983). Fauna I ekologiya pochvennykh bespozvonochnykh Moskovskoi oblasti. Moscow. (in Russ.).

8. Guseinov, E.F., Aliev, Kh.A., Topchieva, Sh.A., & Musaeva, N.N. (2004). Sravnenie pishchi paukov (Araneae) I skorpionov (Scorpiones). In *Ekologiya. Filosofiya. Kul’tura, 38, Baku*, 25-26.

9. Ivlev, V.S. (1955). Eksperimental’naya ekologiya pitaniya ryb. Moscow. (in Russ.).

10. Kashkarov, D.N. (1933). Sreda I soobshchestvo (osnovy sinekologii). Moscow. (in Russ.).

11. Kobakhidze, D.N. (1960). K nakhozhdeniyu pestrogo skorpiona na obrashchennykh k Chernomu moryu sklonakh Glavnogo Kavkazskogo khrebta. *Zoologicheskii zhurnal*, *39*(10). 1573–1574. (in Russ.).

12. Malinina, O.V. (1953). Mesobuthus eupeus, obraz zhizni. *Priroda*, (10). 82–85. (in Russ.).

13. Marikovskii, P.I. (1981). Materialy po biologii I yadovitosti skorpiona Buthus eupeus (C. Koch). *Trudy Instituta zoologii AN Kazakhskoi SSR*, II. 160–166. (in Russ.).

14. Marikovskii, P.I. (1956). Tarantul I karakurt. Frunze. (in Russ.).

15. Tikhomirova, A.L. (1975). Uchet napochvennykh bespozvonochnykh. In *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovanii*, Moscow. 73–85. (in Russ.).

16. Fet, V.Ya. (1980). K ekologii skorpionov (Arachnida, Scorpiones) yugo-vostochnykh Karakumov. *Entomologicheskoe obozrenie*, LIX, 1, 223–228. (in Russ.).

17. Shmal’gauzen, I.I. (1968). Faktory evolyutsii (teoriya stabiliziruyushchego otbora). Moscow. (in Russ.).

18. Yusifov, E.F., Mamedov, A.A., Novruzov, N.E., & Khalilova, V.S. (2019). Model' dinamiki chislennosti paukoobraznykh v spektre ikh mezhvidovykh konkurentnykh otnoshenii. *Matematicheskoe modelirovanie, 31*(4). 131–144.

19. Yusubov, E.B. (1984). Skorpiony (Arachnidae, Scorpiones) Azerbaidzhana: Avtoref. … kand. 81ret. nauk. Baku.

20. Yusubov, E.B., & Gadzhiev, A.T. (1983). O chislennosti skorpionov v Azerbaidzhane. In *Poleznye nasekomye I ikh okhrana v Azerbaidzhane*, Baku. 33–34.

21. Allee, W. C., & Bowen, E. S. (1932). Studies in animal aggregations: mass protection against colloidal silver among goldfishes. *Journal of Experimental Zoology*, *61*(2), 185-207. https://doi.org/10.1002/jez.1400610202

22. Don, B. A. C., & Rennolls, K. (1983). A home range model incorporating biological attraction points. *The Journal of Animal Ecology*, 69-81. https://doi.org/10.2307/4588

23. Fet, V. (1989). A catalogue of scorpions (Chelicerata: Scorpiones) of the USSR. *Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi"*, *13*, 73-171.

24. Fet, V., Sissom, W. D., Lowe, G., & Braunwalder, M. E. (2000). *Catalog of the scorpions of the world (1758-1998)*. New York Entomological Society.

25. Hadley, N. F. (1974). Adaptational biology of desert scorpions. *Journal of Arachnology*, 11-23.

26. Polis, G. A. (1980). Seasonal patterns and age-specific variation in the surface activity of a population of desert scorpions in relation to environmental factors. *The Journal of Animal Ecology*, 1-18. https://doi.org/10.2307/4275

27. Teruel, R. (2002). First record of Mesobuthus eupeus (Koch, 1839) from western Turkey (Scorpiones: Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnologia*, *5*, 75-80.

Новрузов Н.Э. Размерно-возрастные различия биоэкологии *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839) (Arachnida, Scorpiones, Buthidae) в Азербайджане // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. №2(54). С. 70-81. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/09

Novruzov, N.E. (2021). Size-age Differences in the Bioecology of *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839) (Arachnida, Scorpiones, Buthidae) in Azerbaijan. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 70-81. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/09

дата поступления: 14.09.2020 дата принятия: 21.11.2020

УДК 502.476:599.363+599.323+597.8.
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/10

Берников К.А., Стариков В.П.,
Сарапульцева Е.С., Наконечный Н.В.

НАСЕЛЕНИЕ МЕЛКИХ НАЗЕМНЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «ЧЕУСКИНСКИЙ БОР» (ХАНТЫ-МАНСИЙСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ – ЮГРА)

Bernikov K.A., Starikov V.P., Sarapultseva E.S., Nakonechny N.V.

POPULATION OF SMALL TERRESTRIAL VERTEBRATES OF THE NATURE MONUMENT “CHEUSKINSKY BOR” (KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA)

Аннотация. На территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры – организованы 25 особо охраняемых природных территорий различного статуса. Несмотря на их огромное природоохранное значение, степень изученности флоры и фауны, а также экологии растений и животных на территории большинства из них остается сравнительно низкой. Специальных исследований мелких наземных позвоночных, обитающих на территории Чеускинского бора, до настоящего времени не проводилось. В 2020 г. были проведены исследования мелких наземных позвоночных животных. Цель исследования – выявление видового состава и некоторых особенностей экологии (обилие, биотопическое распределение) мелких млекопитающих, земноводных и пресмыкающихся. Работы проведены в июле-сентябре 2020 г. Для отлова большинства видов позвоночных использовали металлические конусы. Всего отработано 7400 конусо-суток. Зарегистрировано 10 видов мелких млекопитающих и 3 – земноводных. Видовой состав мелких млекопитающих памятника «Чеускинский бор» сравнительно бедный, конусами отловлены представители 10 видов, 3 отмечены визуально. В группу доминантов входили обыкновенная бурозубка и красная полевка. На их долю приходилось соответственно 22% и 77% от всех учтенных зверьков. Пресмыкающиеся в сезон 2020 г. в учетах не регистрировались, однако, по литературным данным известно обитание обыкновенной гадюки и живородящей ящерицы. Среди амфибий редкими отмечены остромордая лягушка и сибирский углозуб, обыкновенная жаба обычна. В перспективе при проведении ежегодных исследований список мелких млекопитающих может быть дополнен 7–14 видами насекомоядных, рукокрылых и грызунов, список земноводных – 1 видом.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, амфибии, Югра, памятник природы «Чеускинский бор»

Сведения об авторах: Берников Кирилл Александрович, SPIN-код: 3875-9140, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, bernikov_kirill@mail.ru; Стариков Владимир Павлович, SPIN-код: 1145-0837, д-р биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, vp_starikov@mail.ru; Сарапульцева Екатерина Сергеевна, SPIN-код: 7812-7924, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, kate-biofak@mail.ru; Наконечный Николай Владимирович, SPIN-код: 3000-8384, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, yyd@list.ru

Abstract. There are 25 specially protected natural areas of various status have been organized on the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra. Despite their great nature conservation value, the degree of study of flora and fauna, as well as the ecology of plants and animals in the territory of most of them, remains relatively low. Until now, special studies of small terrestrial vertebrates inhabiting the Cheuskinsky Bor have been carried out. In 2020, our research of small terrestrial vertebrates were carried out. The purpose of the study is to identify the species composition and some features of ecology (abundance, biotopic distribution) of small mammals, amphibians and reptiles. The research was carried out in July-September 2020. Metal cones were used to catch most of the vertebrate species. A total of 7400 cone-days have been worked out. 10 species of small mammals and 3 of amphibians are registered. The species composition of small mammals at the Cheuskinsky Bor site is relatively poor, 10 species were captured by cones, 3 were marked visually. The group of dominants included the common shrew and the red-backed vole. They accounted for 22% and 77%, respectively, of all recorded animals. Reptiles in the 2020 season were not registered in the counts, however, according to the literature, the habitat of the common European adder and viviparous lizard is known. Among amphibians, the moor frog and Siberian salamander are rare, the European toad is common. In the future, when conducting annual studies, the list of small mammals can be supplemented by 7–14 species of insectivores, bats and rodents, the list of amphibians – 1 species.

Keywords: small mammals, amphibians, Ugra, natural monument Cheuskinsky Bor

About the authors: Bernikov Kirill Aleksandrovich, SPIN-code: 3875-9140, Ph.D., Surgut State University, Surgut, Russia, bernikov_kirill@mail.ru; Starikov Vladimir Pavlovich, SPIN-code: 1145-0837, Dr. habil., Surgut State University, Surgut, Russia, vp_starikov@mail.ru; Sarapultseva Ekaterina Sergeevna, SPIN-code: 7812-7924, Surgut State University, Surgut, Russia, kate-biofak@mail.ru; Nakonechny Nikolay Vladimirovich, SPIN-code: 3000-8384, Ph.D., Surgut State University, Russia, Surgut, yyd@list.ru

Введение. Памятник природы «Чеускинский бор» – особо охраняемая природная территория (ООПТ) регионального значения, расположенная в северо-восточной части Нефтеюганского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры – на левобережье среднего течения р. Обь (https://clck.ru/VLWtP). Общая площадь памятника природы составляет 100 га. Эта ООПТ находится на останце второй надпойменной террасы Оби в узкой приречной полосе, сложенной супесчано-суглинистыми отложениями, с полого-бугристым дренированным рельефом, покрытой темнохвойными мелкотравно-зеленомошными лесами. Уникальность памятника природы определяется локальным произрастанием высокопродуктивных насаждений сосны сибирской в окружении низинных болот и заболоченных луговин, в то время как на прочих подобных «островах» в бассейне реки произрастают сосновые боры, преимущественно кустарничково-зеленомошные и кустарничково-сфагновые.

Специальных исследований мелких наземных позвоночных, обитающих на территории Чеускинского бора, не проводилось. В доступных источниках при характеристике фауны указаны сведения об обитании на территории памятника пяти видов земноводных и пресмыкающихся – «…серая жаба, остромордая лягушка, живородящая ящерица, обыкновенная гадюка и очень редко … сибирский углозуб…». Другие группы животных, обитающих на территории памятника природы «Чеускинский бор», характеризуются следующими видами: млекопитающие – обыкновенная белка, рысь, заяц-беляк; птицы – тетерев, рябчик, белая куропатка» (https://clck.ru/VLWtP). В 2020 г. проведены исследования в определенной степени, восполняющие этот пробел.

Материалы и методика. Исследование земноводных, пресмыкающихся и мелких млекопитающих на территории Чеускинского бора проводили в июле-сентябре 2020 г. Для отлова амфибий, рептилий (для обнаружения обыкновенной гадюки применяли маршрутный метод) и мелких млекопитающих применяли металлические конусы без направляющих систем. Всего отработано 7400 конусо-суток. Относительную численность животных характеризовали в соответствии со шкалой и представлением А.П. Кузякина [8]. Объем исследуемого материала составил 365 особей земноводных 3-х видов (сибирский углозуб *Salamandrella keyserlingii* Dybowski, 1870, обыкновенная жаба *Bufo bufo* Linnaeus, 1758 и остромордая лягушка *Rana arvalis* Nilsson, 1842), 744 особи мелких млекопитающих – 10 видов (обыкновенная кутора *Neomys fodiens* Pennant, 1771, обыкновенная бурозубка *Sorex araneus* L., 1758, средняя бурозубка *S. caecutiens* Laxmann, 1785, крупнозубая бурозубка *S. daphaenodon* Thomas, 1907, равнозубая бурозубка *S. isodon* Turov, 1924, малая бурозубка *S. minutus* L., 1766, рыжая полевка *Myodes glareolus* Schreber, 1780, красная полевка *M. rutilus* Pallas, 1779, полевка-экономка *Alexandromys oeconomus* Pallas, 1776 и мышь-малютка *Micromys minutus* Pallas, 1771.

Кроме того, проведены краткосрочные сумеречные и ночные учеты рукокрылых. Отлов зверьков планировали осуществлять с помощью стационарных паутинных сетей, а также мобильной ловушки [2]. Для обнаружения рукокрылых использовался гетеродинный ультразвуковой детектор D-100 Pettersson Electronic AB. В учетах 2020 г. рукокрылые и пресмыкающиеся не зарегистрированы.

Русские и латинские названия животных приведены по В.Л. Вершинину [3], А.А. Лисовскому с соавторами [10].

Результаты и обсуждение. Биотопическое распределение и относительная численность всех мелких млекопитающих находятся под влиянием одних и тех же факторов, но значение этих факторов в различные годы, сезоны у разных групп и видов неодинаково. Это проявляется в предпочтении различных кормов, и в наличии этих кормов в биотопах [15].

Видовой состав мелких млекопитающих сравнительно бедный, на территории памятника природы зарегистрированы 10 видов. В группу доминантов вошли обыкновенная бурозубка и красная полевка. На их долю приходилось соответственно 22% и 77% от всех учтенных зверьков.

Биотопическое распределение и обилие животных, встреченных на территории Чеускинского бора, отражено в таблице 1. Среди землероек повсеместно встречались обыкновенная, средняя и малая бурозубки – все три вида обычные. Обыкновенная кутора – редка, крупнозубая и равнозубая бурозубки отнесены к очень редким видам и регистрировались лишь в кедрово-березовом рябиновом чернично-папоротниковом лесу. Фоновыми видами среди грызунов были красная полевка и полевка-экономка. Обилие *M. rutilus* в 11 раз превышало относительную численность *Alexandromys oeconomus*. Остальные виды редкие и очень редкие. Наибольшие показатели суммарного обилия мелких млекопитающих на этой территории характеризовал кедрово-березовый рябиновый чернично-папоротниковый лес, в этом же биотопе зарегистрированы все виды зверьков, за исключением *Neomys fodiens.*

В более ранних исследованиях [14] показано, что в лесостепной и лесной зонах Западной Сибири обыкновенная бурозубка, распространена повсеместно и повсюду многочисленна, за исключением северной тайги. При известной эвритопности у землероек наблюдалось наибольшее

тяготение к лесным местообитаниям, а в открытых, полуоткрытых и заболоченных участках обилие землероек в целом ниже. Лишь в северной тайге прослеживается приуроченность этих зверьков к поймам рек, независимо от степени увлажнения. С.В. Пучковский [12], сравнивая обыкновенную и среднюю бурозубку, заключал, что «В годы высокого стояния общей численности бурозубок доля обыкновенной максимальна. При снижении численности, что связывается с неблагоприятными погодными условиями, доля обыкновенной и малой бурозубок снижается при одновременном возрастании относительного обилия средней бурозубки… угнетающее воздействие худших погодных условий сильнее сказывается на населении обыкновенной бурозубки – типичный западный палеаркт [19]. Вследствие снижения численности последнего вида средняя бурозубка, как вид менее чувствительный к суровым климатическим условиям (по характеру распространения близка к транспалеарктическим видам), оказывается относительно более многочисленной…». Данный факт отмечали Л.В. Викторов [4], Б.С. Юдин, Л.И. Барсова [19; 20] и С.В. Пучковский с соавт. [11].

Таблица 1

Биотопическое распределение и обилие (особей на 100 конусо-суток) мелких млекопитающих памятника природы «Чеускинский бор» (июль-сентябрь 2020 г.)

Биотоп	Вид										Всего
	N. fodiens	*S. araneus*	*S. caecutiens*	*S. isodon*	*S. daphaenodo*	*S. minutus*	*M. glareolus*	*M. rutilus*	*A. oeconomus*	*M. minutus*	
1. кедрово-березовый рябиновый чернично-папоротниковый лес	–	9.8	7,0	0,1	0,1	0,8	0,1	33,2	2,0	0,3	53,5
2. березово-рябиновый шиповниковый дудниково-хвощевый лес	–	9,7	1,2	–	–	2,8	0,4	9,7	–	0,5	24,3
3. кедрово-осиновый шиповниковый злаково-хвощевый лес	–	5,7	2,8	–	–	0,8	-	16,2	0,8	–	26,3
4. елово-кедровый папоротниково-хвощевый лес	–	2,0	2,0	–	–	0,8	-	25,3	0,8	–	30,9
5. ивняковые разнотравные пойменные заросли	0,5	4,9	1,1	–	–	1,1	-	5,0	1,8	–	14,4
6. осиново-ивняковые злаково-хвощевые пойменные заросли	2,9	5,3	0,8	–	–	3,3	-	1,5	1,5	0,4	15,7
В среднем по памятнику природы	0,6	**6,2**	**2,5**	0,02	0,02	**1,6**	0,08	**15,2**	**1,4**	0,2	27,8

Примечание: **жирным** указаны фоновые виды

Из грызунов во всех обследованных биотопах встречалась красная полевка. Известно, что *M. rutilus,* широко распространенный в лесной зоне и в большинстве случаев доминирующий вид в лесной зоне, зачастую не отдает явного предпочтения к конкретному типу биотопов [15]. В большинстве случаев она или индифферентна, или имеет слабую положительную (или отрицательную) приуроченность к различным местообитаниям, что позволяет отнести ее к эвритопному виду. Возможно, эта особенность красной полевки и является причиной столь массового ее распространения. Отрицательная приуроченность красной полевки выявлена в экотонах и низинных болотах [13]. В группу наиболее широко представленных видов на территории памятника природы следует отнести и полевку экономку, суммарные показатели относительной численности которой постепенно возрастали в пойменных биотопах. В данном случае это наиболее показательный пример рационального и полного использования пространства различными видами полевок. Зеленоядная экономка преобладает в пойме, семенодная красная полевка на – плакоре. Кроме отмеченных выше видов мелких млекопитающих визуально нами неоднократно отмечались азиатский бурундук *Eutamias sibiricus* Laxmann, 1769, обыкновенная белка *Sciurus vulgaris* L., 1758, ондатра *Ondatra zibethicus* L., 1766 (учет двух последних видов грызунов предполагает другие методы).

Учитывая результаты исследований, проведенные на ближайших к территории памятника природы участках, расположенных на левобережье Оби (например, окр. деревни Тундрино и села Высокий Мыс [16], Сургутский заказник [17; 18]) заключаем, что при более детальном исследовании список мелких млекопитающих, возможно, увеличится в 1,5–2 раза. Не исключены находки таких видов, как алтайский крот *Talpa altaica* Nikolsky, 1883, крошечная бурозубка *S. minutissimus* Zimmermann, 1780, лесная мышовка *Sicista betulina* Pallas, 1779, красносерая полевка *Craseomys rufocanus* Sundevall, 1846, водяная полевка *Arvicola agrestis* L., 1758, темная полевка *Agricola agrestis* L., 1761, тундряная бурозубка *Sorex tundrensis* Merriam, 1900, лесной лемминг *Myopus schisticolor*

Lilljeborg, 1844, восточноевропейская полевка *Microtus rossiaemeridionalis* Ognev, 1924 и полевая мышь *Apodemus agrarius* Pallas, 1771. Возможно также проникновение на территорию бора и синантропных грызунов: домовой мыши *Mus musculus* L., 1758 и серой крысы *Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769. Это допустимо с учетом того, что памятник природы прилегает непосредственно к поселку Чеускино, на территории которого расположено сельскохозяйственное предприятие с одноименным названием.

Несмотря на то, что рукокрылые в Чеусконском бору не зарегистрированы, исключать их обитание на ООПТ не стоит. В ходе специальных продолжительных исследований возможна встреча северного кожанка *Eptesicus nilssonii* Keyserling et Blasius, 1839 и двухцветного кожана *Vespertilio murinus* L., 1758, обитание которых подтверждено на соседних территориях [1].

Как указывалось, ранее, на территории памятника природы возможно обитание двух видов рептилий: живородящей ящерицы и обыкновенной гадюки. Живородящая ящерица *Zootoca vivipara* Jacquin, 1787 является одним из наиболее широко распространенных евразийских видов. В пределах лесной зоны Западной Сибири *Z. vivipara* встречается повсеместно. На территории ХМАО – Югры – вид обычен. Обыкновенная гадюка *Pelias berus* L., 1758 в Западной Сибири является одним из массовых видов герпетофауны, населяющих преимущественно лесную и лесостепную зоны. Однако для нее характерна неравномерность распределения по территории, что определено географическими и типологическими условиями местности [9]. В 2020 г. по не вполне объяснимым причинам зарегистрировать пресмыкающихся в Чеускинском бору нам не удалось. Вполне возможно, сказался фактор беспокойства, т. к. территория является рекреационной зоной и ежедневно активно посещается людьми.

Среди земноводных на территории памятника отмечены сибирский углозуб *Salamandrella keyserlingii*, остромордая лягушка *Rana arvalis,* и обыкновенная жаба *Bufo bufo*. Биотопическое распределение и обилие амфибий отражено в таблице 2.

Таблица 2

Биотопическое распределение и обилие (особей на 100 конусо-суток) земноводных памятника природы «Чеускинский бор» (июль-сентябрь, 2020 г.)

№ п/п	Биотоп	Вид			Всего
		Salamandrella keyserlingii	*Rana arvalis*	*Bufo bufo*	
1	кедрово-березовый рябиновый чернично-папоротниковый лес	0,23	0,50	2,34	3,06
2	березово-рябиновый шиповниковый дудниково-хвощевый лес	0,14	0,95	6,49	7,57
3	кедрово-осиновый шиповниковый злаково-хвощевый лес	–	0,50	0,27	0,77
4	елово-кедровый папоротниково-хвощевый лес	–	1,08	1,35	2,43
5	ивняковые разнотравные пойменные заросли	–	0,45	7,30	7,75
6	осиново-ивняковые злаково-хвощевые пойменные заросли	0,41	1,49	2,16	4,19
В среднем по памятнику природы		0,13	0,83	**3,32**	4,29

Примечание: **жирным** указан фоновый вид

В среднем по территории памятника природы остромордая лягушка и сибирский углозуб редки, обыкновенная жаба обычна, как и остромордая лягушка. Тем не менее, обилие обыкновенной жабы в среднем по стационару превышало относительную численность остромордой лягушки почти в четыре раза. Мы связываем эту особенность со спецификой биотопов, большая часть которых расположена непосредственно на останце. Эти биотопы слабо либо, умеренно увлажнены. Известно, что лягушки влаголюбы, а жабы предпочитают более сухие места обитания, особенно вне периода размножения [5; 7]. Доминирование обыкновенной жабы над остромордой лягушкой в пойменных зарослях наблюдалось в основном за счет сеголеток *B. bufo*.

При более детальном обследовании биотопов памятника природы и особенно прилегающих пойменных территорий, кроме учтенных видов земноводных, возможна, встреча сибирской лягушки *Rana amurensis* Boulenger, 1886, среднеобская популяция которой внесена в региональную Красную книгу [6].

Выводы: 1. По результатам учетов 2020 г., список видов мелких млекопитающих памятника природы представляет обедненный вариант, который может быть дополнен насекомоядными, рукокрылыми и грызунами с учетом проведения целенаправленных мониторинговых исследований (от 7 до 14 видов). 2. Основываясь на результатах собственных работ и работ других исследователей,

полагаем, что современный видовой состав земноводных и пресмыкающихся Чеускинского бора выявлен практически полно. В списке отсутствует лишь сибирская лягушка *R. amurensis*.

Работа поддержана проектом РФФИ №18-44-860001/18; № 18-44-860001/19; №18-44-860001/20 р_а, Правительством Ханты-Мансийского автономного округа – Югры №07/18.0360; Департаментом образования и молодежной политики ХМАО-Югры №06/19.0168; №12/20.0371

Литература

1. Берников К.А., Стариков В.П., Наконечный Н.В. География рукокрылых Ханты-Мансийского автономного округа Югры // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29. Вып. 4. С. 488-496.

2. Борисенко А.В. Мобильная ловушка для отлова рукокрылых // Plecotus et al. 1999. №2. С. 10-19.

3. Вершинин В.Л. Амфибии и рептилии Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 170 с.

4. Викторов Л.В. Результаты количественного учета насекомоядных в Калининской области (изменения численности по годам и сезонам) // Ученые записки Калининского гос. пед. ин-та. 1964. Вып. 31. С.74–99.

5. Дунаев Е.А. Разнообразие земноводных (по материалам экспедиции зоологического музея МГУ). М.: Изд-во МГУ,1999. С 260-263.

6. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: животные, растения, грибы. / отв. ред. А.М. Васин, А.Л. Васина. Екатеринбург, 2013. 460 с.

7. Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. М.: Товарищество научных изданий КМК, 1999. 298 с.

8. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Учен. зап. МОПИ им. Н.К. Крупской. 1962. Т. 109. С. 3-182.

9. Куранова В.Н. Фауна и экология земноводных и пресмыкающихся Юго-Востока Западной Сибири: дис. … канд. биол. наук, Томск. гос. ун-т. Томск, 1998. 411 с.

10. Лисовский А. А., Шефтель Б. И., Савельев А. П. и др. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. 2019. Т. 56. С. 1.

11. Пучковский С.В., Галимов В.Р., Рязанцева Г.А., Тюменцева З.В., Плохих Г.И. О численности бурозубок *Sorex* в Исетском районе Тюменской области // Зоологические проблемы Сибири: материалы 4-го совещания зоологов Сибири. Новосибирск: Наука, 1972. 457 с.

12. Пучковский С.В. К вопросу о закономерностях биотопического распределения бурозубок // Труды Свердловского педагогического института. 1973. №221. С. 109–125.

13. Слуту И.М. Экология мелких млекопитающих Сибирских Увалов (Западная Сибирь): автреф. дис. … канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 25 с.

14. Стариков В.П. Пространственная структура населения мелких млекопитающих лесостепной и лесной зон Западной Сибири // Пространственно-временная динамика животного населения (птицы и мелкие млекопитающие). Новосибирск: Наука, 1985. С. 176-187.

15. Стариков В.П., Берников К.А., Морозкина А.В., Слуту И.М. Сообщества и популяции мелких млекопитающих природных парков Югры. Сургут: Печатный мир, 2017. 128 с.

16. Стариков В.П., Берников К.А., Сарапульцева Е.С., Старикова Т.М., Плесовских Н.С. Динамика популяций мелких млекопитающих Среднего Приобья в связи с природной очаговостью туляремии // Естественные и технические науки. 2017. №11 (113). С. 22–26.

17. Стариков В.П., Берников К.А., Сарапульцева Е.С. Стрикова Т.М. Аслямова А.И. Мелкие наземные позвоночные животные Сургутского заказника // Вестник СурГУ, 2018. Вып. 4. С. 59-62.

18. Стариков В.П., Берников К.А., Сарапульцева Е.С., Наконечный Н.В., Кравченко В.Н., Ваганова Е.А., Шемякина Н.С., Муртазин Д.И. Динамика населения мелких млекопитающих Сургутского заказника // Естественные и технические науки. 2021. №1 (151). С. 34–41.

19. Юдин Б.С., Барсова Л.И. Землеройки кедровых лесов прителецкого очага клещевого энцефалита // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск: Наука. 1967. С. 51–59.

20. Юдин Б.С. Фауна землероек (Mammalia: Soricidae) севера Западной Сибири // Биологические проблемы Севера. Магадан, Труды Северо-Восточного комплексного института ДВНЦ АН СССР. 1971. Вып.42. С. 48-53.

References

1. Bernikov, K.A., Starikov, V.P., & Nakonechnyi, N.V. (2019). Geografiya rukokrylykh Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga Yugry. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle, 29*(4). 488-496. (in Russ.).

2. Borisenko, A.V. (1999). Mobil'naya lovushka dlya otlova rukokrylykh. *Plecotus et al.,* (2). 10-19. (in Russ.).

3. Vershinin, V.L. (2007). Amfibii I reptilii Urala. Ekaterinburg. (in Russ.).

4. Viktorov, L.V. (1964). Rezul'taty kolichestvennogo ucheta nasekomoyadnykh v Kalininskoi oblasti (izmeneniya chislennosti po godam I sezonam). *Uchenye zapiski Kalininskogo gos. ped. in-ta,* 31. 74–99. (in Russ.).

5. Dunaev, E.A. (1999). Raznoobrazie zemnovodnykh (po materialam ekspeditsii zoologicheskogo muzeya MGU). Moscow. 260-263. (in Russ.).

6. Krasnaya kniga Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry: zhivotnye, rasteniya, griby (2013). red. A.M. Vasin, A.L. Vasina. Ekaterinburg. (in Russ.).

7. Kuz'min, S.L. (1999). Zemnovodnye byvshego SSSR. Moscow. (in Russ.).

8. Kuzyakin, A.P. (1962). Zoogeografiya SSSR. *Uchen. zap. MOPI im. N.K. Krupskoi,* 109. 3-182. (in Russ.).

9. Kuranova, V.N. (1998). Fauna I ekologiya zemnovodnykh I presmykayushchikhsya Yugo-Vostoka Zapadnoi Sibiri: dis. … kand. 87ret. nauk, Tomsk. gos. un-t. Tomsk. (in Russ.).

10. Lisovskii, A. A., Sheftel', B. I., Savel'ev, A. P., Ermakov, O. A., Kozlov, Yu. A., Smirnov, D. G., ... & Glazov, D. M. (2019). Mlekopitayushchie Rossii: spisok vidov I prikladnye aspekty. *Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeya MGU,* 56, 1. (in Russ.).

11. Puchkovskii, C.B., Galimov, V.R., Ryazantseva, G.A., Tyumentseva, Z.V., & Plokhikh, G.I. (1972). O chislennosti burozubok Sorex v Isetskom raione Tyumenskoi oblasti. In *Zoologicheskie problemy Sibiri: materialy 4-go soveshchaniya zoologov Sibiri,* Novosibirsk. (in Russ.).

12. Puchkovskii, S.V. (1973). K voprosu o zakonomernostyakh biotopicheskogo raspredeleniya burozubok. *Trudy Sverdlovskogo pedagogicheskogo instituta,* (221). 109–125. (in Russ.).

13. Slutu, I.M. (2009). Ekologiya melkikh mlekopitayushchikh Sibirskikh Uvalov (Zapadnaya Sibir'): avtref. dis. … kand. 87ret. nauk. Novosibirsk. (in Russ.).

14. Starikov, V.P. (1985). Prostranstvennaya struktura naseleniya melkikh mlekopitayushchikh lesostepnoi I lesnoi zon Zapadnoi Sibiri. In *Prostranstvenno-vremennaya dinamika zhivotnogo naseleniya (ptitsy I melkie mlekopitayushchie),* Novosibirsk, 176-187. (in Russ.).

15. Starikov, V.P., Bernikov, K.A., Morozkina, A.V., & Slutu, I.M. (2017). Soobshchestva I populyatsii melkikh mlekopitayushchikh prirodnykh parkov Yugry. Surgut. (in Russ.).

16. Starikov, V.P., Bernikov, K.A., Sarapul'tseva, E.S., Starikova, T.M., & Plesovskikh, N.S. (2017). Dinamika populyatsii melkikh mlekopitayushchikh Srednego Priob'ya v svyazi s prirodnoi ochagovost'yu tulyaremii. *Estestvennye I tekhnicheskie nauki,* (11 (113)). 22–26. (in Russ.).

17. Starikov, V.P., Bernikov, K.A., Sarapul'tseva, E.S. Strikova, T.M. Aslyamova, A.I. (2018). Melkie nazemnye pozvonochnye zhivotnye Surgutskogo zakaznika. *Vestnik SurGU, 4,* 59-62. (in Russ.).

18. Starikov, V.P., Bernikov, K.A., Sarapul'tseva, E.S., Nakonechnyi, N.V., Kravchenko, V.N., Vaganova, E.A., Shemyakina, N.S., Murtazin, D.I. (2021). Dinamika naseleniya melkikh mlekopitayushchikh Surgutskogo zakaznika. *Estestvennye I tekhnicheskie nauki, 1* (151). 34–41. (in Russ.).

19. Yudin, B.S., & Barsova, L.I. (1967). Zemleroiki kedrovykh lesov priteletskogo ochaga kleshchevogo entsefalita. In *Priroda ochagov kleshchevogo entsefalita na Altae,* Novosibirsk, 51–59. (in Russ.).

20. Yudin, B.S. (1971). Fauna zemleroek (Mammalia: Soricidae) severa Zapadnoj Sibiri.In *Biologicheskie problemy Severa. Magadan, Trudy Severo-Vostochnogo kompleksnogo instituta DVNC AN SSSR,* 42, 48-53. (in Russ.).

Берников К.А., Стариков В.П., Сарапульцева Е.С., Наконечный Н.В. Население мелких наземных позвоночных животных памятника природы «Чеускинский бор» (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 82-87. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/10

Bernikov, K.A., Starikov, V.P., Sarapultseva, E.S. & Nakonechny, N.V. (2021). Population of Small Terrestrial Vertebrates of the Nature Monument "Cheuskinsky bor" (Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 82-87. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/10

дата поступления: 22.11.2020 дата принятия: 12.03.2021

UDC 612.017.2 (612.17)
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/11

Pogonysheva I.A., Lunyak I.I., Pogonyshev D.A.

ANNUAL DYNAMICS OF DISPERSION MAPPING INDICATORS OF ELECTROCARDIOGRAM TRACING IN STUDENTS WITH DIFFERENT CHRONOTYPES

Погонышева И.А., Луняк И.И., Погонышев Д.А.

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИСПЕРСИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ У СТУДЕНТОВ РАЗНЫХ ХРОНОТИПОВ

Abstract. The paper examines the annual profile of fluctuating microalternations of some ECG parameters in healthy students who live in northern conditions and have different chronotypes. The main method of the research was the dispersion mapping that helped assess the energy and metabolic processes in myocardium. Among male and female students, 14,3% had the morning chronotype, 50,7% had the arrhythmic chronotype, and 35% had the evening chronotype. Previously published research results showed a similar distribution of chronotypes among the population of the north: individuals with the arrhythmic chronotype dominate in the sample, the evening chronotype is the second most common, and the morning chronotype can be found in a smaller number of people. The seasonal dynamics of dispersion mapping indicators in students was analyzed. The analyses revealed an increase in the values of the Myocardium Index in students of all chronotypes in spring, with no significant deviations to be noted. The maximum values of the Heart Rate and Rhythm indicators in the annual dynamics in all students were noted in spring, and the minimum values, in summer, with significant deviations observed. The Rhythm integral indicator pointed to the signs of tension of adaptation mechanisms in the subjects with the evening chronotype in spring. Increased ECG microalterations (Myocardium, Heart Rate, Rhythm) in male and female students in spring may indicate the influence of climatic conditions that put a greater stress on the cardiovascular system in the transitional seasons. It is manifested by a change in the electrophysiological properties of the myocardium. In the subjects with the evening chronotype, the circadian rhythms of the circulatory system were more sensitive to the hypocomfortable conditions of the north.

Keywords: students, biorhythm, chronotype, seasonal dynamics, dispersion mapping, ECG signal, ECG microalternations, electrophysiological properties, myocardium.

About the authors: Pogonysheva Irina Alexandrovna, ORCID: 0000-0002-5759-0270, Ph.D., Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, severina.i@bk.ru; Lunyak Inna Igorevna, ORCID: 0000-0003-3479-9829; Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, luniak_inna@mail.ru; Pogonyshev Denis Alexandrovich, ORCID: 0000-0001-8815-1556, Ph.D., Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, d.pogonyshev@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено изучению годичного профиля колебаний микроальтернаций некоторых показателей ЭКГ-сигнала у здоровых студентов разных хронотипов, проживающих и обучающихся в условиях севера с использованием технологии дисперсионного картирования, позволяющей судить об энергетических и обменных процессах в миокарде. Утренний хронотип был определен у 14,3% студентов, аритмичный хронотип выявлен у 50,7%, вечерний хронотип отмечался у 35% юношей и девушек. Ранее опубликованные результаты исследований показывают аналогичную ситуацию распределения хронотипов среди населения севера: в выборке доминируют представители аритмичного хронотипа, далее вечерний хронотип и меньшее количество обследуемых относятся к утреннему хронотипу. Анализ сезонной динамики показателей дисперсионного картирования у студентов выявил повышение значений индекса «Миокард» в весенний период, применительно к обследуемым всех хронотипов, значимые отличия не отмечены. Максимальные значения показателей частоты сердечных сокращений и «Ритм» в динамике годичных наблюдений у всех студентов были отмечены в весенний период, минимальные летом, выявлены значимые отличия. Признаки напряжения механизмов адаптации, согласно значениям интегрального показателя «Ритм» отмечены у представителей вечернего хронотипа в весенний сезон. Увеличение показателей микроальтерации ЭКГ-сигнала («Миокард», ЧСС, «Ритм») у юношей и девушек в весенний период может свидетельствовать о влиянии климатических условий, требующих большего напряжения сердечно-сосудистой системы в переходные сезоны года, что проявляется изменением электрофизиологических свойств миокарда. У обследуемых вечернего хронотипа циркадианные ритмы параметров системы органов кровообращения были более чувствительны к гипокомфортным условиям северных территорий.

Ключевые слова: студенты, биоритмы, хронотипы, сезонная динамика, дисперсионное картирование, микроальтернации ЭКГ-сигнала, электрофизиологические свойства миокарда.

Сведения об авторах: Погонышева Ирина Александровна, ORCID: 0000-0002-5759-0270, канд. биол. наук, Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, severina.i@bk.ru; Луняк Инна Игоревна, ORCID: 0000-0003-3479-9829, Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, luniak_inna@mail.ru; Погонышев Денис Александрович, ORCID: 0000-0001-8815-1556, канд. биол. наук, Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, d.pogonyshev@mail.ru

Introduction. In biorhythmology, researchers pay significant attention the rhythm of cardiac activity. The circulatory system is especially sensitive to the influence of the external environment. It enters upon the adaptation reactions rather early and can be considered as an indicator of the adaptive reactions of the whole organism. Compared to other organs and systems of the human body, the circulatory system has the clearest circadian organization. The daily rhythm is inherent in all indicators of the cardiovascular functioning, but the nature of rhythmic processes in biological systems remains largely unclear [1; 6; 7; 8; 10; 15; 16].

Individuals with different chronotypes demonstrate dissimilar features of the autonomic regulation of the cardiovascular system and dissimilar adaptive responses to changes in meteorological elements [3]. Borisenkov found that the circadian system in individuals with the evening chronotype is more sensitive to the hypocomfortable conditions of the north [2]. Botoeva and Gonobobleva reported the signs of adaptation stress in response to climatic changes in individuals with the evening chronotype, while in individuals with the other chronotypes these changes were less pronounced [3]. The seasonal functional activity of the cardiovascular system parameters is considered as an indicator of health status, while rhythm disturbance is as an indicator of pre-pathological conditions and dysfunctions. Botoeva and Urumov revealed inter-season variations in heart rate in students, and pointed to significant tension of the adaptive mechanisms of the subjects in winter [4]. The seasonal changes in the indicators of electrocardiogram (ECG) dispersion mapping should be studied because it expands the understanding of the role of biological rhythms in ensuring adaptation and homeostasis processes. It is quite relevant to use of the chronobiological approach to identify premorbid conditions preceding the clinical manifestation of dysfunctions.

The indicators of ECG dispersion mapping of electrocardiogram in the population of different ages were studied in the north of European Russia [13; 14]. However, there seems to be no publications on the analysis of electrical microalternations of the ECG signal in the inhabitants of the Middle Ob region who have different chronotypes. Therefore, this study has a certain novelty.The study aimed to identify seasonal fluctuations of microalternations of the ECG signal by dispersion mapping data in students with different chronotypes.

Materials and methods. One hundred and forty conditionally healthy students of the Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia, participated in the study. Young men and women were examined in the course of their educational activities unrelated to examinations. The average age was 18,8±1,5 years.

An effective method for early detection of electrophysiological changes in the myocardium is ECG dispersion mapping [9; 12]. The indicators of the electrophysiological properties of the myocardium were recorded in the Human Ecology Laboratory of Nizhnevartovsk State University using the CardioVisor-06s computer-based heart screening system (https://clck.ru/VN6i7). The device can perform the dispersion analysis of the low-amplitude oscillations in ECG, and thus identify abnormalities in the cardiac function in the early stages and make a three-dimensional image of the cardiac function, individual for each student.

The ECG dispersion mapping was performed four times per year, once in each season (winter, spring, summer, autumn). The following three indicators were analyzed: the index of electrophysiological changes in the myocardium (the Myocardium Index), or the myocardial microalternation index (MMI), the Heart Rate, the Rhythm index, calculated by heart rate variability indicators.

The statistical data was processed using the CardioVisor-06s software package. The Myocardium integral indicator was calculated in per cent, where a value of less than 15% corresponded to the absence of significant deviations, 15 to 21% indicated borderline cases, and the indicator over 21% was a significant electrophysiological deviation. The following gradations were taken for the Rhythm index (%): < 15% – normal, 15 to 50% – slight deviation, 51 to 80% – a borderline case, > 80% – a pronounced deviation.

The circadian typology (the chronotypes) was determined by Horne and Ostberga's method [18]. According to the survey results, the respondents were divided into three groups: arrhythmic chronotype, the moderate evening and definite evening types were combined into the evening chronotype group, the moderate morning and definite morning types were categorized into the morning chronotype group.

The results were statistically processed using the Statistica 8.0 software. The data in Table 1 below are presented as mean value ± standard error (M±m). Each participant gave an informed consent to the diagnostic procedure and processing of personal data. The research was conducted in compliance with ethical standards set forth in the WMA Declaration of Helsinki [5]. The examined men and women had no chronic diseases, were not exempt from classes due to health reasons, and had no health-related complaints at the time of study.

Results and discussion. According to the obtained survey data, 14,3% of students had the morning chronotype, 50,7% had the arrhythmic chronotype, and 35% of the surveyed men and women had in the evening chronotype. Previously published research results showed a similar distribution of chronotypes among the population of the north: individuals with the arrhythmic chronotype dominate in the sample, the evening chronotype is the second most common, and the morning chronotype can be found in a smaller number of

people. There is a hypothesis the altered photoperiodism influences the chronotype distribution in residents of northern territories, which determines a smaller percentage of persons with the morning chronotype [11; 17].

Table

Annual dynamics of the MMI indicator (M±m)

Chronotype	MMI values in different seasons (%)			
	winter	spring	summer	autumn
morning	13.8±0.9	14.6±0.5	13.4±0.8	13.7±0.6
arrhythmic	13.9±0.6	14.4±0.8	13.3±0.7	13.6±0.5
evening	14.8±1.1	15.8±0.7	13.6±1.4	13.9±0.8

The analysis of the indicator dynamics revealed an increase in the MMI values in spring in subjects of all chronotypes. The Myocardium index in most of the subjects was within the standard range, with the exception of the subjects with the evening chronotype in spring in whom the MMI exceeded the upper limit of the physiological norm. The subjects with the evening chronotype had higher MMI values than the other groups in spring and winter seasons, with no significant variations observed. The MMI values were maximum in spring. The subjects with the evening chronotype had the highest Myocardium value (15,8±0,7%). The subjects with the morning chronotype had 14,6±0,5%, and the subjects with arrhythmic chronotype had 14,4±0,8%. No significant variations were found. The minimum MMI values were observed in summer. The subjects with the evening chronotype had 13,6±1,4%, the subjects with arrhythmic chronotype had 13.3±0.7%, and students with the morning chronotype demonstrated 13,4±0,8%. No significant variations were found (Table 1).

According to published studies, at the end of winter and spring, the indicators of myocardial activity in conditionally healthy subjects are at the upper limit of the physiological norm and its functional reserves are depleted, while in summer the reserves are sufficient. Spring and autumn are transitional seasons when the state of vascular tone has a greater impact on the functional activity of the heart [1; 15; 16].

The maximum values of the Heart Rate and Rhythm indicators in the annual dynamics were observed in all subjects in spring (Figs. 1&2). These indicators in most of the subjects were within the norm. The examined students had a balanced ratio between the parasympathetic and sympathetic activity of the autonomic nervous system. The exception was the subjects with the evening chronotype in spring when the Heart Rate reached to the upper limit of the physiological norm (Fig. 1) and Rhythm pointed to the stress of the adaptation mechanisms of the regulatory systems (Fig. 2).

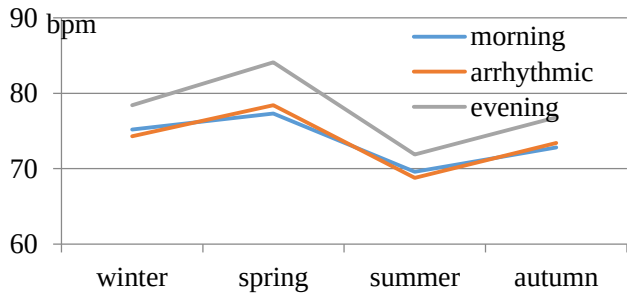


Fig. 1. Seasonal changes in heart rate in students with different chronotypes (M±m)

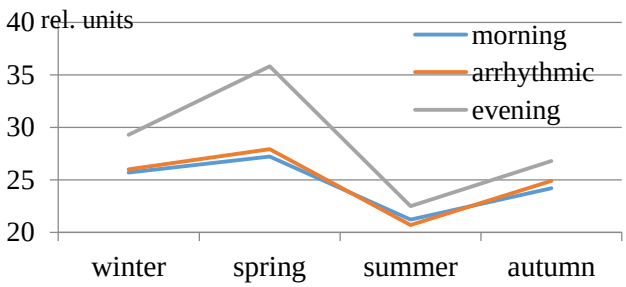


Fig. 2. Seasonal changes in Rhythm in students with different chronotypes (M±m)

The subjects with the evening chronotype had the highest Heart Rate value in spring (84.1±2.3 bpm), the subjects with the arrhythmic chronotype had 78.4±2.1 bpm, and the examined students with the morning chronotype demonstrated 77.3±2.5 bpm. Significant seasonal variations were observed ($p < 0.05$, Fig. 1). The maximum values of the Rhythm indicator occurred in students with the evening chronotype in spring (35.8±1.9 relative units). The subjects with the morning chronotype (27.2±1.5 relative units) and the subjects with the arrhythmic chronotype (27.9±1.8 relative units) had these values lower ($p < 0.05$, Fig. 2).

The minimum values of the dispersion mapping indicators were observed in summer. The subjects with the evening chronotype had the lowest heart rate in summer (71,9±2,5 bpm), the subjects with the arrhythmic chronotype had 68,8±2,8 bpm, and the subjects with the morning chronotype had 69,6±2,4 bpm. Significant seasonal variations were observed ($p < 0,05$, Fig. 1). The minimum values of the Rhythm indicator were noted in summer season in students with the evening chronotype (22,5±1,5 relative units). The subjects with the morning chronotype (21.2±1.6 relative units) and the arrhythmic chronotype (20,7±1,9 relative units) had these values lower ($p < 0,05$, Fig. 2).

Conclusion. The study revealed seasonal fluctuations of the ECG microalternations by the dispersion mapping data obtained from students of different chronotypes. The increased indicators of ECG

microalteration (Myocardium, Heart Rate, Rhythm) in spring may indicate the influence of climatic conditions on students. It puts a greater tension of the body's functional reserves, which is manifested by a change in the parameters of the cardiovascular system. According to the Rhythm values, the signs of tension of adaptation mechanisms were observed in the subjects with the evening chronotype in spring. The changes in meteorological conditions during the transition from winter to spring affect the the myocardium of northerners and cause stress to the regulatory systems. An imbalance in the autonomic regulation of the heart rate has an adverse effect on the electrophysiological properties of the myocardium. In spring, the number of subjects with possible electrophysiological changes in the myocardium increased.

References

1. Bpeyc, T.K., Chibisov, C.M., Baevskii, R.M., & Shebzukhov, K.B. (2002). Khronostruktura bioritmov serdtsa i faktory vneshnei sredy. Moscow. (in Russ.).

2. Borisenkov, M.F. (2010). Khronotip cheloveka na Severe. *Fiziologiya cheloveka, 36*(3), 117-122. (in Russ.).

3. Botoeva, N.K., Gonoboboleva, T.N., Khetagurova, L.G., & Urumova, L.T. (2013). Osobennosti reagirovaniya na pogod-nye usloviya lits raznogo khronotipa. *Vladikavkazskii 91reten-biologicheskii vestnik, 16*(24-25), 22-29. (in Russ.).

4. Botoeva, N.K., & Urumova, L.T. (2012). Sezonnye izmeneniya variabel'nosti serdechnogo ritma u studentov, pro-zhivayushchikh v predgornoi zone Severnoi Osetii. *Vestnik RUDN. Seriya: Meditsina,* (7), 53-54. (in Russ.).

5. Vsemirnaya meditsinskaya assotsiatsiya. Khel'sinkskaya deklaratsiya "Eticheskie printsipy provedeniya me-ditsinskikh issledovanii s uchastiem lyudei v kachestve sub"Ektov issledovaniya" (2007). PF. (2).

6. Zenina, O.Yu., Makarova, I.I., Ignatova, Yu.P., & Aksenova, A.V. (2017). Khronofiziologiya I khronopatologiya ser-dechno-sosudistoi sistemy (obzor literatury). *Ekologiya cheloveka,* (1), 25-33. (in Russ.).

7. Ivanov, G.G., Baevskii, R.M., Gazi, G., Bersenev, E.Yu., & Rusanov, V.B. (2013). Minutnye, tsirkadnye I sezonnye kolebaniya mikroal'ternatsii EKG-signala po dannym dispersionnogo kartirovaniya. *Klinicheskaya informa-tika I telemeditsina, 9*(10), 25-32. (in Russ.).

8. Ivanov, G.G., Dvornikov, V.E., Mikheeva, Yu.V., Chuiko, N.A., Khalabi, G., Azaraksh, Kh., & Eikhenval'd, L. A. (2014). Metod dispersionnogo kartirovaniya v otsenke tsirkadnykh I godichnykh kolebanii mikroal'ternatsii EKG-signala. *Vestnik RUDN. Seriya: Meditsina,* (3), 40-45. (in Russ.).

9. Ivanov, G.G., & Sula, A.S. (2009). Dispersionnoe EKG-kartirovanie: teoreticheskie osnovy I klinicheskaya prak-tika. Moscow. (in Russ.).

10. Katinas, G.S., Chibisov, S.M., Khalabi, G.M., & Dement'ev, M.V. (2017). Analiticheskaya khronobiologiya. Moscow. (in Russ.).

11. Kot, T.L., Kosarev, A.N., Bochkarev, M.V., & Ragozin, O.N. (2013). Osobennosti vegetativnoi regulyatsii ritma serdtsa v zavisimosti ot bioritmologicheskogo stereotipa u patsientov s depressivnymi rasstroistvami. *Sovremennye problemy nauki I obrazovaniya,* (4), 115. (in Russ.).

12. Ryabykina, G.V., Vishnyakova, N.A., Blinova, E.V., Kozhemyakina, E.Sh., Sobolev, A.V., & Britov, A.N. (2010). Voz-mozhnosti metoda dispersionnogo kartirovaniya EKG dlya otsenki rasprostranennosti serdechno-sosudistykh zabolevanii. *Kardiovaskulyarnaya terapiya I profilaktika,* (9(3)), 98-105. (in Russ.).

13. Solonin, Yu.G., Markov, A.L., & Boiko, E.R. (2011). Funktsional'nye pokazateli zdorov'ya u muzhchin severyan. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN,* (3(7)), 43-47. (in Russ.).

14. Solonin, Yu.G., Markov, A.L., Boiko, E.R., Lysenkov, I.I., Efimov, A.V. (2013). Osobennosti pokazatelei dis-persionnogo kartirovaniya elektrokardiogrammy u prakticheski zdorovykh zhitelei severa. *Profilaktiche-skaya meditsina,* (16(5)). 48-52. (in Russ.).

15. Khalabi, G.M. (2016). Elektrofiziologicheskie I khronobiologicheskie metody v rannei diagnostike porazhe-niya miokarda (po dannym obsledovaniya v Livane I RF): Dis. … d-ra med. nauk. Moscow. (in Russ.).

16. Chibisov, S.M., Ovchinnikova, L.K., & Breus, T.K. (1998). Biologicheskie ritmy serdtsa I «vneshnii stress. Moscow. (in Russ.).

17. Shalamova, E.Yu., Ragozin, O.N., Safonova, V.R. (2016). Bioritmologicheskie osobennosti i elementy desin-khronoza parametrov tsentral'noi gemodinamiki u studentov severnogo meditsinskogo vuza. *Ekologiya cheloveka,* (6), 26-32. (in Russ.).

18. Horne, J. A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International journal of chronobiology,* (4), 97–110.

Литература

1. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М.: РУДН, Полиграф сервис, 2002. 232 с.

2. Борисенков М.Ф. Хронотип человека на Севере // Физиология человека. 2010. Т. 36. №3. С. 117-122.

3. Ботоева Н.К., Гонобоболева Т.Н., Хетагурова Л.Г., Урумова Л.Т. Особенности реагирования на погодные условия лиц разного хронотипа // Владикавказский медико-биологический вестник. 2013. Т. 16. №24-25. С. 22-29.

4. Ботоева Н.К., Урумова Л.Т. Сезонные изменения вариабельности сердечного ритма у студентов, проживающих в предгорной зоне Северной Осетии // Вестник РУДН. Серия: Медицина. 2012. №7. С. 53-54.

5. Всемирная медицинская ассоциация. Хельсинкская декларация «этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» // ПФ. 2007. №2.

6. Зенина О.Ю., Макарова И.И., Игнатова Ю.П., Аксенова А.В. Хронофизиология и хронопатология сердечно-сосудистой системы (обзор литературы) // Экология человека. 2017. №1. С. 25-33.

7. Иванов Г.Г., Баевский Р.М., Гази Г., Берсенев Е.Ю., Русанов В.Б. Минутные, циркадные и сезонные колебания микроальтернаций ЭКГ-сигнала по данным дисперсионного картирования // Клиническая информатика и телемедицина. 2013. Т. 9. №10. С. 25-32.

8. Иванов Г.Г., Дворников В.Е., Михеева Ю.В., Чуйко Н.А., Халаби Г., Азаракш Х., Эйхенвальд Л. А. Метод дисперсионного картирования в оценке циркадных и годичных колебаний микроальтернаций ЭКГ-сигнала // Вестник РУДН. Серия: Медицина. 2014. №3. С. 40-45.

9. Иванов Г.Г., Сула А.С. Дисперсионное ЭКГ-картирование: теоретические основы и клиническая практика. М.: Техносфера, 2009. 190 с.

10. Катинас Г.С., Чибисов С.М., Халаби Г.М., Дементьев М.В. Аналитическая хронобиология. М. – Б. ЕВОХ, 2017. 224 с.

11. Кот Т.Л., Косарев А.Н., Бочкарев М.В., Рагозин О.Н. Особенности вегетативной регуляции ритма сердца в зависимости от биоритмологического стереотипа у пациентов с депрессивными расстройствами // Современные проблемы науки и образования. 2013. №4. С. 115.

12. Рябыкина Г.В., Вишнякова Н.А., Блинова Е.В., Кожемякина Е.Ш., Соболев А.В., Бритов А.Н. Возможности метода дисперсионного картирования ЭКГ для оценки распространенности сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2010. №9(3). С. 98-105.

13. Солонин Ю.Г., Марков А.Л., Бойко Е.Р. Функциональные показатели здоровья у мужчин северян // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2011. №3(7). С. 43-47.

14. Солонин Ю.Г., Марков А.Л., Бойко Е.Р., Лысенков И.И., Ефимов А.В. Особенности показателей дисперсионного картирования электрокардиограммы у практически здоровых жителей севера // Профилактическая медицина. 2013. №16(5). С. 48-52.

15. Халаби Г.М. Электрофизиологические и хронобиологические методы в ранней диагностике поражения миокарда (по данным обследования в Ливане и РФ): Дис. … д-ра мед. наук. М. 2016. 223 с.

16. Чибисов С.М., Овчинникова Л.К., Бреус Т.К. Биологические ритмы сердца и «внешний стресс. М. 1998. 250 с.

17. Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Сафонова В.Р. Биоритмологические особенности и элементы десинхроноза параметров центральной гемодинамики у студентов северного медицинского вуза // Экология человека. 2016. № 6. С. 26-32.

18. Horne J. A., Östberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms // International journal of chronobiology. 1976. №4. P. 97–110.

Pogonysheva I.A., Lunyak I.I., Pogonyshev D.A. Annual dynamics of dispersion mapping indicators of electrocardiogram tracing in students with different chronotypes // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2021. № 2(54). P. 88-92. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/11

Pogonysheva, I.A., Lunyak, I.I. & Pogonyshev, D.A. (2021). Annual Dynamics of Dispersion Mapping Indicators of Electrocardiogram Tracing in Students with Different Chronotypes. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 88-92. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/11

дата поступления: 05.11.2020 дата принятия: 02.03.2021

УДК 611/616.-053.2:616–007.17–018.2:572.021.1
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/12

Шевнин И.А., Татаринцев П.Б., Рагозина О.В., Ильющенко Н.А., Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю.

ЛАТЕНТНЫЕ ФАКТОРЫ КОМПОНЕНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА С НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ДИСПЛАЗИЕЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

Shevnin I.A., Tatarintsev P.B., Ragozina O.V., Ilyushchenko N.A., Ragozin O.N., Schalamova E.Yu.

LATENT FACTORS OF THE COMPONENTS OF PHYSICAL DEVELOPMENT IN CHILDREN AND ADOLESCENTS OF THE NORTHERN REGION WITH UNDIFFERENTIATED CONNECTIVE TISSUE DISPLASION

Аннотация. В связи с распространением недифференцированных форм дисплазии соединительной ткани (НДСТ) в неблагоприятных климатогеографических и экологических условиях представляется актуальным оценить влияние нарушений органогенеза на физическое развитие детей школьного возраста, проживающих в северном регионе. Исходя из вышесказанного, целью данного исследования явиляется изучение взаимосвязей и взаимозависимостей компонентов физического развития и соматометрических показателей у детей северного региона с фенотипическими признаками дисплазии соединительной ткани. Выявлены антропометрические показатели, которые можно использовать для прогнозирования уровня физического развития у детей с НДСТ, – это величины индекса длины ног, толщина кожно-жировой складки на передней поверхности плеча и межорбитально-окружностный индекс. При оценке таких ковариантов, как возраст и пол, наблюдается корреляция кластеров длиннотных величин с возрастом, взаимосвязь толщины кожно-жировых складок с полом, а параметры, оценивающие изменения мозгового и лицевого черепа, такие, как ширина лица, окружность головы и межорбитально-окружностный индекс, связаны как с полом, так и с возрастом. Влияние нарушений осанки на исследуемые компоненты физического развития проявляется более высоким ростом у детей с плоской и кругло-вогнутой спиной, уменьшением толщины кожно-жировых складок и размеров головы при круглой и кругло-вогнутой спине. Таким образом, для сравнительного анализа межполовых и возрастных различий уровня физического развития у детей с НДСТ необходимо учитывать динамику взаимозависимых антропометрических показателей и индексов с учетом типов нарушения осанки.

Ключевые слова: физическое развитие, дети, недифференцированная дисплазия соединительной ткани, север.

Сведения об авторах: Шевнин Игорь Андреевич, ORCID: 0000-0003-1772-1026, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, igor_shevnin@mail.ru; Татаринцев Павел Борисович, Bnei Re'em, Illinois, ic472pbt@yandex.ru; Рагозина Ольга Васильевна, ORCID: 0000-0002-4051-7819, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, olga1ragozina@gmail.com; Ильющенко Наталья Александровна, ORCID: 0000-0002-1261-3352, Ханты-Мансийская государственная

Abstract. In connection with the spread of undifferentiated forms of connective tissue dysplasia (UCTD) in unfavorable climatogeographic and environmental conditions, it seems relevant to assess the impact of organogenesis disorders on physical development in schoolchildren living in the northern region. Based on the foregoing, the purpose of this study was to study the relationships and interdependencies of the components of physical development and somatometric indicators in children of the northern region with phenotypic signs of connective tissue dysplasia. Anthropometric indicators were revealed that can be used for express diagnostics of the level of physical development in children with UCTD – these are the length of the legs, the thickness of the skin-fat fold on the front surface of the shoulder and the interorbital-circumferential index. When assessing covariants such as age and sex, there is a correlation of clusters of long-length values with age, the relationship of the thickness of the skin-fat folds with the floor, and the parameters assessing changes in the cerebral and facial skull, such as: face width, head circumference and interorbital-circumferential index are associated with both sex and with age. The influence of posture disorders on the studied components of physical development is manifested by higher growth in children with flat and round-curved backs, a decrease in the thickness of skin-fat folds and head size with a round and round-curved back. Thus, for a comparative analysis of gender and age differences in the level of physical development in children with UCTD, it is necessary to take into account the dynamics of interdependent anthropometric indicators and indices, taking into account postural disorders.

Keywords: physical development, children, undifferentiated connective tissue dysplasia, north.

About the authors: Shevnin Igor Andreevich, ORCID: 0000-0003-1772-1026, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, igor_shevnin@mail.ru; Tatarintsev Pavel Borisovich, Bnei Re’em, Illinois, ic472pbt@yandex.ru; Ragozina Olga Vasilievna, ORCID: 0000-0002-4051-7819, Khanty-Mansi State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, olga1ragozina@gmail.com; Ilyushchenko Natalia Alexandrovna, ORCID: 0000-0002-1261-3352, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia,

медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия,iluyshenko@yandex.ru; Рагозин Олег Николаевич, ORCID: 0000-0002-5318-9623, д-р мед. наук, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, oragozin@mail.ru; Шаламова Елена Юрьевна, ORCID: 0000-0001-5201-4496, канд. биол. наук, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия selenzik@mail.ru

iluyshenko@yandex.ru; Ragozin Oleg Nikolaevich, ORCID: 0000-0002-5318-9623, Dr. habil., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, oragozin@mail.ru; Schalamova Elena Yurievna, ORCID: 0000-0001-5201-4496, Ph.D., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia selenzik@mail.ru

Введение. Физическое развитие детей является одним из основных показателей состояния здоровья, которое отражает уровень жизни популяции и является индикатором чувствительности к изменениям окружающей среды [5; 13; 15; 16]. Под влиянием средовых факторов генотип преобразуется в фенотипические проявления [3]. Фенотипические преобразования происходят в течение всего периода постнатального онтогенеза, отражая возрастную динамику физического развития [17; 20]. При этом изучение процессов развития и роста детей отдельных популяций, проживающих в различных климатогеографических условиях, является одним из актуальных вопросов возрастной антропологии, в том числе и в северных регионах России [8; 14; 21]. Недифференцированная дисплазия соединительной ткани (НДСТ) остается значимой проблемой в системе охраны здоровья детей ввиду ее широкой распространенности и влияния на формирование хронической патологии. Дети, имеющие признаки НДСТ, требуют особых подходов к оценке уровня физического развития с учетом не только наличия, но и выраженности диспластического процесса, то есть нуждаются в проведении комплексного исследования, отражающего степень влияния дисплазии на гармоничность физического развития [1; 4; 6; 18; 24]. НДСТ – это не единая нозологическая единица, а группа состояний, при которой набор клинических признаков не укладывается ни в одно из наследственных моногенных заболеваний [9]. Генетически измененный фибриллогенез является одной из основ нарушения структуры и функции различных органов и систем, а развитие организма ребенка протекает в условиях постоянного хронического стресса, вызывая процессы дезадаптации, влекущие за собой изменении структуры коллагена. Коллагенопатии широко распространены среди жителей всех широт, но наибольшее распространение имеют среди лиц, проживающих в условиях экстремальных или субэкстремальных климатических условий [11; 21; 23].

Исходя из вышесказанного, целью данного исследования явиляется изучение взаимосвязей и взаимозависимостей компонентов физического развития и соматометрических показателей у детей северного региона с фенотипическими признаками дисплазии соединительной ткани.

Объекты и методы исследования. На первом этапе было исследовано 907 детей, среди которых у 528 человек было выявлено от 2 до 18 фенотипических признаков НДСТ. Согласно критериям Т.И. Кадуриной и Л.Н. Аббакумовой (2008) [10], 342 ребенка, у которых количество фенотипических признаков равнялось шести и более, составили группу исследования (ГИ); участники исследования с количеством стигм от 0 до 5 выделены в группу сравнения (ГС) (n=186). В общей группе наличие НДСТ выявлено у 64,7%. Исследование соответствовало этическим принципам, изложенным в Хельсинкской Декларации. Возрастной и половой состав исследуемых групп представлен в таблице.

Таблица

Возрастной и половой состав групп исследования (ГИ) и сравнения (ГС) детей г. Ханты-Мансийска

Группы		Общая группа		Период второго детства		Подростковый возраст	
		мальчики (n=254)	девочки (n=169)	мальчики (n=105)	девочки(n=47)	мальчики(n=38)	девочки(n=19)
ГИ (n=342)	абс.	248	94	182	59	66	35
	%	(75,2)	(24,8)	(73,4)	(62,7)	(84,2)	(61,1)
ГС (n=186)	абс.	111	75	82	52	29	23
	%	(59,6)	(40,4)	(73,8)	(69,3)	(26,2)	(30,7)

В исследовании оценка фенотипических признаков НДСТ проводилась по варианту карты Ю.О. Онуфрийчук с соавт. (2009) [21], которая используется нами в исследованиях популяции жителей северного региона с 2009 г. Карта включала признаки-фены с определением изменений со стороны скелета, кожи и мягких тканей, органа зрения, сосудов, а именно долихоцефалия: узкое лицо; широкое лицо; гипо- или гипертелоризм; высокое небо; эпикант или его остатки; голубые склеры; гетерохромия радужки; миопия; аномалии строения ушных раковин; аномалии строения носа; плоская верхняя губа; карпий рот; нарушение прикуса; аномалии строения резцов; гипогнатия; сколиоз; воронкообразная

деформация грудной клетки; килеобразная деформация грудной клетки; клинодактилия; изодактилия; редуцированная перепонка; арахнодактилия; положительный симптом запястья; положительный симптом большого пальца; плоскостопие; сандалевидная щель; синдром двузубца; синдром трезубца; форма кисти/стопы; гиперэластичность кожи; множественные родинки; гемангиомы, телеангиоэктазии; грыжи различной локализации; геморрагический синдром; гипермобильность суставов; синкопальные состояния.

На основании внешнего осмотра и стоматологического обследования в базу данных были включены обнаруженные стигмы дизэмбриогенеза – аномалии, не влияющие на функцию органа и не являющиеся существенными косметическими дефектами, при исключении наследственного или приобретенного постнатально генеза [2]. Уровень физического развития определяли по региональным центильным таблицам для длины тела (см), массы тела (кг), окружности грудной клетки (см) (https://clck.ru/VNXJi) [22]. Клиническая оценка упитанности ребенка, в первую очередь, предусматривает выраженность и распределение подкожной жировой клетчатки [27].

Оценка типа осанки производилась по методике Е.П. Ковальковой (1962) [12] с выделением следующих форм спины: нормальная, круглая, плоская, кругло-вогнутая.

Антропометрические измерения включали определение длиннотных, обхватных размеров тела, диаметров, толщину кожно-жировых складок (ТКЖС), индексов и формы спины, как:

— длина тела; длина туловища; длина левой верхней конечности; длина правой верхней конечности; длина левой нижней конечности; длина правой нижней конечности; отношение длины левой верхней конечности к росту; отношение длины правой верхней конечности к росту; отношение длины правой нижней конечности к росту; отношение длины левой нижней конечности к росту;

— окружность грудной клетки; окружность головы; обхват плеча; обхват предплечья; обхват бедра;

— ширина плеч (плечевой диаметр); переднезадний диаметр груди; поперечный размер грудной клетки; ширина таза (межгребневый диаметр); переднезадний диаметр головы; поперечный диаметр головы;

— толщина кожно-жировой складки (ТКЖС) под нижним углом лопатки; ТКЖС на задней поверхности плеча; ТКЖС на предплечье; ТКЖС на передней поверхности бедра; ТКЖС на задней поверхности голени; ТКЖС на животе; ТКЖС на боку, на талии по средне-подмышечной линии; ТКЖС на бедре сбоку в верхней трети;

— индекс Кетле II; индекс Пинье; индекс Вервека; индекс Бругша; индекс кормический; индекс ширины плеч; индекс таза; индекс формы и длины туловища; индекс грудной клетки; черепной индекс; индексы длины рук; индексы длины ног; лицевой индекс; межорбитально-окружностный индекс;

— форма спины: нормальная, круглая, плоская, кругло-вогнутая

Расширенный объем антропометрических параметров и индексов физического развития необходим для включения в математическую модель поиска взаимосвязей и взаимозависимостей проявлений НДСТ и конституциональных особенностей детей северного региона

Статистическая обработка данных. Исследование одномоментное (поперечное). Способ создания выборки – нерандомизированный. Полученные в результате обследования данные в виде качественных и количественных признаков регистрировались согласно протоколу и составили электронную базу данных «Соматометрические и соматоскопические показатели физического развития школьников г. Ханты-Мансийска 7–17 лет» (RU 2018621150 от 26.07.2018) [25]. Результаты исследования подвергнуты статистической обработке с использованием программ Statistica 8.0 и Excel 2013. Описательная статистика представлена центральными характеристиками распределения данных – среднее значение (M) и статистическими характеристиками разброса данных изучаемого признака – стандартное отклонение (SD). Для сравнительного анализа числовых признаков использовались параметрические и непараметрические методы.

Для решения задачи о взаимозависимостях морфологических параметров с фенотипическими признаками НДСТ применялись методы факторного, дисперсионного и регрессионного анализа. В основе исследования лежит метод главных компонент [19], дающий возможность разделения большого количества признаков на группы таким образом, чтобы внутри каждой из них измеренные величины тесно коррелировали между собой, а между группами корреляция была слаба либо отсутствовала вовсе. С каждой группой связано понятие латентного фактора – некоторой очевидно ненаблюдаемой величины, – предположительно оказывающей влияние на каждую из переменных внутри группы. Данный подход позволил сократить пространство признаков до трех ведущих, которым присвоены как символьные (F_1, F_2, F_3), так и собственные имена, отражающие их смысл. Небольшое число выделенных факторов позволило не только упростить статистический анализ, но и выявить в каждой

группе антропометрических характеристик те, которые достаточно тесно ассоциированы с главным фактором для того, чтобы служить его заменой в практических приложениях.

Результаты исследования и обсуждение. Для того, чтобы выявить, какие антропометрические параметры являются определяющими в группах обследованных детей мужского и женского пола, был проведен факторный анализ.

В группе детей с НДСТ значение первого фактора составило 47,5% полной вариации. Этот фактор объединяет следующую группу антропометрических параметров: вес, рост, длину туловища, окружность грудной клетки, поперечный диаметр головы, переднезадний диаметр головы, ширину плеч, межгребневый размер, длину левой руки, длину правой руки, высоту лица, переднезадний диаметр грудной клетки, поперечный диаметр грудной клетки. Максимальный внутригрупповой коэффициент корреляции с ростовым компонентом ФР наблюдается у показателя длины ног: левая (r=0,94; p=0,003) и правая (r=0,92; p=0,022).

Таким образом, в группе детей с НДСТ по первому латентному фактору обнаружены две значимые факторные нагрузки, которые принадлежат величинам длины ног. Здесь понятие факторные нагрузки – это коэффициенты корреляции с фактором.

Значение второго фактора по компоненту физического развития, характеризующего упитанность, составило 26%. В данный кластер входят величины толщины кожно-жировой складки (ТКЖС) следующих областей: передней и задней поверхности плеча, задней поверхности предплечья, задней поверхности голени, передней поверхности бедра, области живота и спины, – всего 7 областей. Величины факторных коэффициентов указывают на значимую корреляцию средней силы, кроме ТКЖС на передней поверхности плеча, где коэффициент корреляции составляет (r=0,92; p=0,032).

Установлено, что третьим значимым фактором (8,3%), определяющим физическое развитие ребенка с НДСТ, являются величины ширины лица и окружности головы. Максимальную факторную нагрузку несет величина межорбитально-окружностного индекса (r=0,72; p=0,002). Межорбитально-окружностный индекс – это результат деления расстояния (см) между внутренними углами глазных щелей на окружность головы, умноженный на 100. Остальные 20% оценки факторов приходятся на шум.

При оценке таких ковариантов, как возраст и пол, наблюдается корреляция кластера в основном длиннотных величин по F_1 (ростовой) с возрастом, по F_2 (упитанность) с полом. Параметры, оценивающие изменения мозгового и лицевого черепа, такие, как ширина лица, окружность головы и межорбитально-окружностный индекс, коррелируют как с полом, так и с возрастом.

При оценке физического развития и его динамики у детей с НДСТ можно отслеживать изменения выявленных антропометрических параметров по F_1– длине нижних конечностей; по F_2 – толщине кожно-жировой складки передней поверхности плеча; по F_3 – межорбитально-окружностному индексу. Так как наличие НДСТ у детей в большинстве своем предполагает нарушения осанки [7; 26], которые являются отражением вышеописанных взаимодействий, на следующем этапе исследования необходимо оценить возможное влияние типов нарушения осанки (форма спины) на величину трех ведущих факторов, характеризующих ростовой компонент, упитанность и размеры головы. На рисунке 1 представлены межполовые различия факторов, характеризующих физическое развитие.

Как оказалось, по ростовому компоненту (F_1) у детей с НДСТ значимых отличий нет. При этом толщина кожно-жировой складки (F_2) у девочек больше. Показатели, характеризующие размеры мозгового и лицевого черепа (F_3), значимо выше у мальчиков. Таким образом, сохраняются межполовые закономерности, характерные для всей детской популяции.

На рисунке 2 приведены результаты дисперсионного анализа по группам с нарушением осанки. Некоторые результаты можно обосновать с точки зрения биомеханики (например, у детей с плоской и кругло-вогнутой спиной рост выше). Неясно, чем объяснить значимо низкие величины компонента упитанности у детей с круглой и кругло-вогнутой формой спины. Окружность головы, ширина лица и межорбитально-окружностный индекс также значимо ниже у детей с НДСТ при формировании у них круглой и кругло-вогнутой спины.

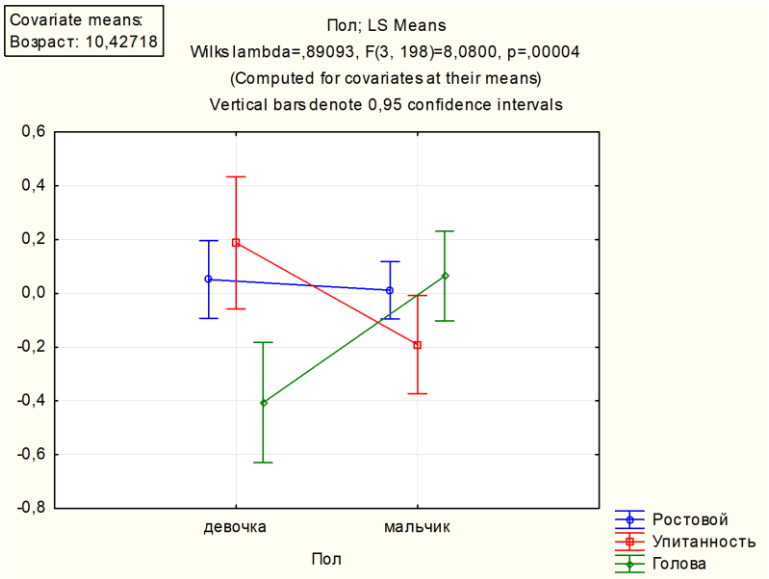


Рис. 1. Межполовые различия факторов, характеризующих физическое развитие (F_1 (ростовой), F_2 (упитанность), F_3 (размеры головы)), у детей с НДСТ

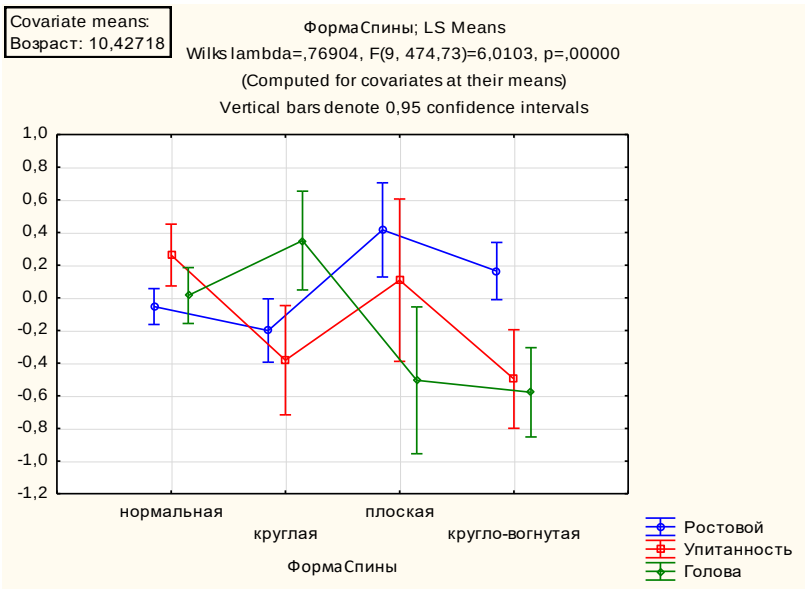


Рис. 2. Компоненты физического развития (F_1 (ростовой), F_2 (упитанность), F_3 (размеры головы) у детей с НДСТ при различной форме спины

Заключение. Факторный анализ дает дополнительные возможности для выявления особенностей физического развития у детей с нарушенным органогенезом. Он позволяет упростить статистический анализ и обнаружить среди антропометрических показателей те из них, которые могут служить заменой главному фактору. Отслеживание и оценка таких параметров позволит прогнозировать отклонения в физическом развитии детей с недифференцированной дисплазией соединительной ткани.

Таким образом, для сравнительного анализа межполовых и возрастных различий физического развития у детей с недифференцированной дисплазией соединительной ткани, кроме классических методов, необходимо учитывать динамику взаимозависимых антропометрических показателей и индексов с учетом нарушений осанки.

Литература

1. Арсентьев В.Г., Баранов В.С., Шабалов Н.П. Наследственные заболевания соединительной ткани как конституциональная причина полиорганных нарушений у детей. СПб.: СпецЛит. 2014. 188 с.

2. Волынкина А.И., Галонский В.Г., Эверт Л.С., Теппер Е.А. Стигмы дизэмбриогенеза у детей, рожденных после реализации вспомогательных репродуктивных технологий // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1.

3. Гелашвили О.А., Хисамов Р.Р., Шальнева И.Р. Физическое развитие детей и подростков // Современные проблемы науки и образования. 2018. №3.

4. Генова О.А. Распространенность и некоторые клинико-патогенетические аспекты недифференцированной дисплазии соединительной ткани у подростков: автореф. … канд. мед. наук. Хабаровск, 2011. 24 с.

5. Грицинская В.Л., Никитина И.Л. Соматометрические показатели физического развития школьников г. Санкт-Петербурга // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2018. №63 (1). С. 66-70. https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-1-66-70

6. Демидов Р.О., Лапшина С.А., Якупова С.П. Дисплазия соединительной ткани: современные подходы к клинике, диагностике и лечению // Практическая медицина. 2015. №4(89). С. 37-40.

7. Дробинская А.Ю. Анатомия и физиология человека. М.: ЮРАЙТ. 2016. 415 с.

8. Изатулин В.Г., Карабинская О.А., Бородина Г.Н., Калягин А.Н. Физическое развитие детей и подростков Восточной Сибири: проблемы изучения и оценки // Сибирский медицинский журнал. 2015. №7. С. 121–125.

9. Кадурина Т.И., Аббакумова Л.Н. Оценка степени тяжести недифференцированной дисплазии соединительной ткани у детей // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2008. №2 (10). С. 15–20.

10. Кадурина Т.И., Аббакумова Л.Н. Принципы реабилитации больных с дисплазией соединительной ткани // Лечащий врач. 2010. №4. С. 40–44.

11. Калаева Г. Ю., Хохлова О. И., Деев И. А., Самойлова Ю. Г. Распространенность и клиническая характеристика дисплазии соединительной ткани у подростков // Педиатрическая фармакология. 2017. Т. 14. №5. С. 373-379. https://doi.org/10.15690/pf.v14i5.1785

12. Кашуба В.А. Биомеханика осанки. Киев: Олимпийская литература. 2003. 139 с.

13. Кильдиярова Р.Р. Оценка физического развития детей с помощью перцентильных диаграмм // Вопросы современной педиатрии. 2017. №16 (5). С. 431–437. https://doi.org/10.15690/vsp.v16i5.1808

14. Кирилова И.А., Осипова Е.В. Особенности физического развития детской популяции г. Иркутска // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2016. Т. 1. №5(111). С. 195-197.

15. Койносов П.Г., Чирятьева Т.В., Орлов С.А., Койносов А.П. Анатомо-антропологические особенности физического развития жителей Среднего Приобья // Медицинская наука и образование Урала. 2016. №1. С. 46–49.

16. Койносов П.Г., Чирятьева Т.В., Чистикин А.Н., Койносов А.П. Анатомо-антропологические подходы в оценке индивидуальной изменчивости жителей Тюменского региона. Вклад научной школы профессора Н. Ф. Жвавого в развитие медицинской антропологии // Медицинская наука и образование Урала. 2018. Т. 19. №1 (93). С. 9–15.

17. Лукьяненко В.П., Краморова М.В., Муханова Н.В. Комплексное развитие физических качеств как основа укрепления здоровья школьников // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2018. №2 (65). С. 178–184.

18. Мартынова А.И., Нечаева Г.И., Акатова Е.В. Национальные рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2016. №11(1). С. 71-75.

19. Мятлев В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. М.: Академия. 2009. 320 с.

20. Намазова-Баранова Л.С., Елецкая К.А., Кайтукова Е.В., Макарова С.Г. Оценка физического развития детей среднего и старшего школьного возраста: анализ результатов одномоментного исследования // Педиатрическая фармакология. 2018. №15 (4). С. 333–342. https://doi.org/10.15690/pf.v15i4.1948

21. Онуфрийчук Ю.О., Рагозин О.Н., Радыш И.В., Журавлева Ю.С. Дисплазия соединительной ткани: распространенность и спектры фенотипических проявлений в различных климатических поясах // Экология человека. 2009. №1. С. 29–33.

22. Тепляков А.А., Шамилина А.И., Якушина О.А., Мещеряков В.В., Гирш Я.В. Региональные нормативы физического развития детей пришлого населения Среднего Приобья и их сравнительный анализ // Медицина и образование в Сибири. 2015. №3. С.72.

23. Тимофеева Е. П., Карцева Т. В., Рябиченко Т. И., Скосырева Г. А. Диспластический марш-термин, означающий хронологическую последовательность формирования симптомов дисплазии соединительной ткани // Педиатрические аспекты дисплазии соединительной ткани. Достижения и перспективы. 2011. С. 81-87.

24. Трушина О.В., Орлова В.С., Калашникова И.В. Физическое развитие и соматический фон девушек-подростков, страдающих дисменореей, сочетанной с дисплазией соединительной ткани // Научные ведомости. 2018. Т. 41. №1. С. 36–45.

25. Шевнин И.А., Рагозина О.В., Ильющенко Н.А., Рагозин О.Н. Соматометрические и соматоскопические показатели физического развития школьников г. Ханты-Мансийска 7-17 лет. База данных. Св-во о гос. регистрации № 2018621150, дата регистрации 26.07.2018 г.

26. Шевнин И.А., Рагозин О.Н., Рагозина О.В., Ильющенко Н.А., Суринов Д.В. Особенности формирования осанки у детей с дисплазией соединительной ткани, проживающих в северном регионе // Российские биомедицинские исследования. 2019. Т. 4. №2. С. 3–7.

27. Юрьев В.В., Симаходская А.С., Воронович Н.Н., Хомич М.М. Рост и развитие ребенка. СПб.: Питер. 2007. 272 с.

References

1. Arsent'ev, V.G., Baranov, V.S., & Shabalov, N.P. (2014). Nasledstvennye zabolevaniya soedinitel'noi tkani kak konstitutsional'naya prichina poliorgannykh narushenii u detei. St. Petersburg. (in Russ.).

2. Volynkina, A.I., Galonskii, V.G., Evert, L.S., & Tepper, E.A. (2017). Stigmy dizembriogeneza u detei, rozhdennykh posle realizatsii vspomogatel'nykh reproduktivnykh tekhnologii. *Sovremennye problemy nauki I obrazovaniya,* (1). (in Russ.).

3. Gelashvili, O.A., Khisamov, R.R., & Shal'neva, I.R. (2018). Fizicheskoe razvitie detei I podrostkov. *Sovremennye problemy nauki I obrazovaniya,* (3). (in Russ.).

4. Genova, O.A. (2011). Rasprostranennost' I nekotorye kliniko-patogeneticheskie aspekty nedifferentsiro-vannoi displazii soedinitel'noi tkani u podrostkov: avtoref. … kand. med.nauk. Khabarovsk. (in Russ.).

5. Gritsinskaya, V.L., & Nikitina, I.L. (2018). Somatometricheskie pokazateli fizicheskogo razvitiya shkol'nikov g. Sankt-Peterburga. *Rossiiskii vestnik perinatologii I pediatrii,* (63 (1)). 66-70. (in Russ.). https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-1-66-70

6. Demidov, R.O., Lapshina, S.A., & Yakupova, S.P. (2015). Displaziya soedinitel'noi tkani: sovremennye podkhody k klinike, diagnostike I lecheniyu. *Prakticheskaya meditsina,* (4(89)). 37-40. (in Russ.).

7. Drobinskaya, A.Yu. (2016). Anatomiya I fiziologiya cheloveka. Moscow. (in Russ.).

8. Izatulin, V.G., Karabinskaya, O.A., Borodina, G.N., & Kalyagin, A.N. (2015). Fizicheskoe razvitie detei I podrost-kov Vostochnoi Sibiri: problemy izucheniya I otsenki. *Sibirskii meditsinskii zhurnal,* (7). 121–125. (in Russ.).

9. Kadurina, T.I., & Abbakumova, L.N. (2008). Otsenka stepeni tyazhesti nedifferentsirovannoi displazii soedinitel'noi tkani u detei. *Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza,* (2(10)). 15–20. (in Russ.).

10. Kadurina, T.I., & Abbakumova, L.N. (2010). Printsipy reabilitatsii bol'nykh s displaziei soedinitel'noi tkani. *Lechashchii vrach,* (4). 40–44. (in Russ.).

11. Kalaeva, G. Yu., Khokhlova, O. I., Deev, I. A., & Samoilova, Yu. G. (2017). Rasprostranennost' I klinicheskaya kharakteristika displazii soedinitel'noi tkani u podrostkov. *Pediatricheskaya farmakologiya, 14*(5), 373-379. (in Russ.). https://doi.org/10.15690/pf.v14i5.1785

12. Kashuba, V.A. (2003). Biomekhanika osanki. Kiev. (in Russ.).

13. Kil'diyarova, R.R. (2017). Otsenka fizicheskogo razvitiya detei s pomoshch'yu pertsentil'nykh diagram. *Voprosy sovremennoi pediatrii,* (16 (5)). 431–437. (in Russ.). https://doi.org/10.15690/vsp.v16i5.1808

14. Kirilova, I.A., & Osipova, E.V. (2016). Osobennosti fizicheskogo razvitiya detskoi populyatsii g. Irkutska. *Byulleten' VSNTs SO RAMN, 1*(5(111)). 195-197. (in Russ.).

15. Koinosov, P.G., Chiryat'eva, T.V., Orlov, S.A., & Koinosov, A.P. (2016). Anatomo-antropologicheskie osobennosti fizicheskogo razvitiya zhitelei Srednego Priob'ya. *Meditsinskaya nauka I obrazovanie Urala,* (1). 46-49. (in Russ.).

16. Koinosov, P.G., Chiryat'eva, T.V., Chistikin, A.N., & Koinosov, A.P. (2018). Anatomo-antropologicheskie podkhody v otsenke individual'noi izmenchivosti zhitelei Tyumenskogo regiona. Vklad nauchnoi shkoly professora N. F. Zhvavogo v razvitie meditsinskoi antropologii. *Meditsinskaya nauka I obrazovanie Urala, 19*(1 (93)). 9-15. (in Russ.).

17. Luk'yanenko, V.P., Kramorova, M.V., & Mukhanova, N.V. (2018). Kompleksnoe razvitie fizicheskikh kachestv kak os-nova ukrepleniya zdorov'ya shkol'nikov. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta,* (2 (65)). 178-184. (in Russ.).

18. Martynova, A.I., Nechaeva, G.I., & Akatova, E.V. (2016). Natsional'nye rekomendatsii Rossiiskogo nauchnogo me-ditsinskogo obshchestva terapevtov po diagnostike, lecheniyu I reabilitatsii patsientov s displaziyami soedini-tel'noi tkani. *Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza,* (11(1)). 71-75. (in Russ.).

19. Myatlev, V.D., Panchenko, L.A., Riznichenko, G.Yu., & Terekhin, A.T. (2009). Teoriya veroyatnostei I matematicheskaya statistika. Matematicheskie modeli. Moscow. (in Russ.).

20. Namazova-Baranova, L.S., Eletskaya, K.A., Kaitukova, E.V., & Makarova, S.G. (2018). Otsenka fizicheskogo razvitiya detei srednego I starshego shkol'nogo vozrasta: analiz rezul'tatov odnomomentnogo issledovaniya. *Pediatricheskaya farmakologiya,* (15 (4)). 333–342. (in Russ.). https://doi.org/10.15690/pf.v15i4.1948

21. Onufriichuk, Yu.O., Ragozin, O.N., Radysh, I.V., & Zhuravleva, Yu.S. (2009). Displaziya soedinitel'noi tkani: rasprostranennost' I spektry fenotipicheskikh proyavlenii v razlichnykh klimaticheskikh poyasakh. *Ekologiya cheloveka,* (1). 29–33. (in Russ.).

22. Teplyakov, A.A., Shamilina, A.I., Yakushina, O.A., Meshcheryakov, V.V., & Girsh, Ya.V. (2015). Regional'nye normativy fizicheskogo razvitiya detei prishlogo naseleniya Srednego Priob'ya I ikh sravnitel'nyi analiz. *Meditsina I obrazovanie v Sibiri,* (3). 72. (in Russ.).

23. Timofeeva, E.P., Kartseva, T.V., Ryabichenko, T.I., Skosyreva, G.A. (2011). Displasticheskii marsh-termin, oznachayushchii khronologicheskuyu posledovatel'nost' formirovaniya simptomov displazii soedinitel'noi tkani. In *Pediatricheskie aspekty displazii soedinitel'noi tkani. Dostizheniya I perspektivy,* 81-87. (in Russ.).

24. Trushina, O.V., Orlova, V.S., & Kalashnikova, I.V. (2018). Fizicheskoe razvitie I somaticheskii fon devushek-podrostkov, stradayushchikh dismenoreei, sochetannoi s displaziei soedinitel'noi tkani. *Nauchnye vedomosti, 41*(1). 36-45. (in Russ.).

25. Shevnin, I.A., Ragozina, O.V., Il'yushchenko, N.A., & Ragozin, O.N. (2018). Somatometricheskie I somatoskopicheskie pokazateli fizicheskogo razvitiya shkol'nikov g. Khanty-Mansiiska 7-17 let. Baza dannykh. Sv-vo o gos. re-gistratsii № 2018621150, data registratsii 26.07.2018 g.

26. Shevnin, I.A., Ragozin, O.N., Ragozina, O.V., Il'yushchenko, N.A., & Surinov, D.V. (2019). Osobennosti formirova-niya osanki u detei s displaziei soedinitel'noi tkani, prozhivayushchikh v severnom regione. *Rossiiskie bio-meditsinskie issledovaniya*, *4*(2). 3-7. (in Russ.).

27. Yur'ev, V.V., Simakhodskaya, A.S., Voronovich, N.N., & Khomich, M.M. (2007). Rost i razvitie rebenka. St. Petersburg. (in Russ.).

Шевнин И.А., Татаринцев П.Б., Рагозина О.В., Ильющенко Н.А., Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю. Латентные факторы компонентов физического развития у детей и подростков северного региона с недифференцированной дисплазией соединительной ткани // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 93-100. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/12

Shevnin, I.A., Tatarintsev, P.B., Ragozina, O.V., Ilyushchenko, N.A., Ragozin, O.N. & Schalamova, E.Yu. (2021). Latent Factors of the Components of Physical Development in Children and Adolescents of the Northern Region with Undifferentiated Connective Tissue Dysplasia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 93-100. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/12

дата поступления: 22.01.2020 дата принятия: 08.04.2021

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ / ECOLOGY AND NATURE MANAGEMENT

УДК 574
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/13

Чаус Б.Ю.

ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОСТОЯНСТВА ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ БЕЛАЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН)

Chaus B.Yu.

APPROACH TO OPTIMIZING ECOLOGICAL MONITORING OF WATER QUALITY USING INDICATORS OF CONSTANCY OF HIGHER WATER VEGETATION (USING EXAMPLE OF UPPER COURSE OF WHITE RIVER IN BASHKORTOSTAN REPUBLIC)

Аннотация. В статье приводится анализ динамики показателей постоянства представителей высшей водной растительности (ВВР) в верхнем течении реки Белая (Республика Башкортостан) с 2005 по 2019 гг. Показатели постоянства 11 видов ВВР (*Butomus umbellatus* L., 1753; *Elodea canadensis* Michx., 1803; *Najas marina* L., 1753; *Potamogeton natans* L., 1753; *Potamogeton perfoliatus* L., 1753; *Potamogeton crispus* L., 1753; *Stuckenia pectinata* L., 1753; *Myriophyllum spicatum* L., 1753; *Lemna minor* L., 1753; *Spirodela polyrhiza* Schleid., 1839 и *Ceratophyllum demersum* L., 1753) регистрировались в районах 2-х государственных водных постов – на территории железнодорожной станции «Шушпа» и дома отдыха «Арский камень». В ходе исследований впервые составлены списки постоянных, добавочных и случайных видов ВВР. Рассчитаны корреляционно-регрессионные модели связей между показателями постоянства представителей высшей водной растительности с содержанием химических веществ в реке Белая. Выявлены наиболее сильно влияющие на показатели постоянства представителей ВВР загрязняющие вещества, определяемые в воде верхнего течения реки Белая.

Ключевые слова: высшая водная растительность, экологический мониторинг, биомониторинг, биоиндикация, река Белая, показатели постоянства видов, гидрохимические показатели, корреляционные и регрессионные модели.

Сведения об авторе: Чаус Борис Юрьевич, ORCID: 0000-0003-4465-6872, канд. биол. наук, Башкирский государственный университет, г. Стерлитамак, Россия, chaus-str@mail.ru

Abstract. The article provides an analysis of the dynamics of the constancy indicators of representatives of higher aquatic vegetation (VBR) in the upper reaches of the Belaya River (Republic of Bashkortostan) from 2005 to 2019. Constancy indicators of 11 species of BBP (*Butomus umbellatus* L., 1753; *Elodea canadensis* Michx., 1803; *Najas marina* L., 1753; *Potamogeton natans* L., 1753; *Potamogeton perfoliatus* L., 1753; *Potamogeton crispus* L., 1753; *Stuckenia pectinata* L., 1753; *Myriophyllum spicatum* L., 1753; *Lemna minor* L., 1753; *Spirodela polyrhiza* Schleid., 1839 and *Ceratophyllum demersum* L., 1753) were registered in the areas of 2 state water posts – the Shushpa railway station and the Arsky Kamen recreation house. In the course of research, for the first time, lists of permanent, additional and random species of BBP were compiled, correlation-regression models of the relationships between the constancy indicators of representatives of higher aquatic vegetation with the content of chemicals were calculated, the pollutants most strongly affecting the constancy indicators of representatives of BBP were identified, determined in the water of the upper course of the Belaya River.

Keywords: higher water vegetation, ecological monitoring, biomonitoring, bioindication, Belaya River, species constancy indicators, hydrochemical indicators, correlation and regression models.

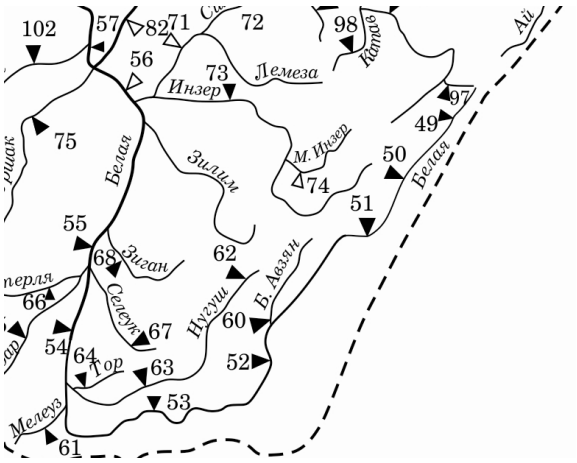
About the author: Chaus Boris Yuryevich, ORCID: 0000-0003-4465-6872, Ph.D., Bashkir State University, Sterlitamak, Russia, chaus-str@mail.ru

Контроль качества природных вод в России в настоящее время осуществляется в основном физико-химическими методами, но анализ содержания отдельных химических веществ в водах не дает интегральную оценку их действия на водные организмы. Этого недостатка лишены методы биоиндикации качества вод, о чем, например, писал в еще 1991 г. В.А. Абакумов [1]. Для биоиндикационных исследований качества природных вод разработано много индексов и приемов, хорошо описанных в работах Н.Г. Булгакова (2002), В.К. Шитикова с соавт. (2003) и др. [4; 14]. Но практически все они констатируют качество воды по показателям «чисто», «грязно» и т. п. Поэтому проблема влияния загрязняющих веществ на качество природных вод как среды жизни остается открытой.

Решение этой проблемы, по-видимому, будет возможным лишь при объединении гидрологических, физико-химических и биоиндикационных методов, используемых в ходе

экологического мониторинга вод рек России. Последнее обстоятельство впоследствии позволит заменить ряд дорогостоящих химических анализов на более дешевые – биологические – и разрабатывать более четкие технологические приемы для очистки сточных вод. Подобную работу, очевидно, можно организовать в районах государственных водопостов и створов, а не на произвольно выбранных участках природных водоемов и водотоков. Водная растительность тесно связана с гидрологическими особенностями водоема, размерами и морфометрией котловины, химическим составом вод, характером и распределением донных отложений, и рядом других факторов [5]. Для реки Белая (Республика Башкортостан) нет сведений о показателях постоянства высшей водной растительности (ВВР), кроме тех, что указаны в публикациях автора данной статьи [10; 11; 12].

Исходя из вышеизложенного, целью работы был анализ многолетней динамики показателей постоянства представителей ВВР в верхнем течении реки Белая, протекающей по территории Республики Башкортостан.



− ▼- гидрологический пост стоковый и его номер (согласно «Государственному водному кадастру…» (2017); − места проведения исследования: 50 – район ж/д ст. «Шушпа» (С1); 51 – район д/о «Арский камень» (С2)

Рис. 1. Схема расположения районов исследования в верхнем течении реки Белая

Объекты и методы исследований. Изучение динамики показателей постоянства представителей ВВР проводилось в районах 2-х государственных водопостов в верхнем течении реки Белая – на территории ж/д ст. «Шушпа» (50) и д/о «Арский камень» (51) (рис. 1).

Исследования проводились в летнюю межень с 2005 по 2019 гг. В каждом районе регистрация постоянства ВВР проводилась на 10 участках (расстояние между участками ≈ 100–150 м) с песчано-галечным грунтом и скоростью течения 0,1–0,5 м/сек, которая определялась гидрометрической вертушкой. Определение видовой принадлежности ВВР проводилось непосредственно на створах по «Определителю высших растений Башкирской АССР» (1988, 1999). Сверка латинских названий растений проводилась по С.К. Черепанову (1995). Экологические группы использованных для исследований представителей высшей водной растительности показаны в таблице 1.

Таблица 1

Экологическая принадлежность видов ВВР использованных в ходе исследования за период с 2005 по 2019 гг.

Элодеиды	*Нимфеиды*
Элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx., 1803)	Стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L., 1753)
Наяда морская (*Najas marina* L., 1753)	Сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L., 1753)
Рдест плавающий (*Potamogeton natans* L., 1753)	*Макрофитопланктон*
Рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L., 1753)	Ряска малая (*Lemna minor* L., 1753)
Рдест курчавый (*Potamogeton crispus* L., 1753)	Многокоренник (*Spirodela polyrhiza* Schleid., 1839)
Рдест гребенчатый (*Stuckenia pectinata* L, 1753; Börner, 1912)	Роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L, 1753)
Уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L., 1753)	

Эти растения легко определяются визуально, что очень важно для организации и проведения систематических гидробиологических мониторинговых наблюдений в районах государственных водопостов и гидростворов.

В качестве химической составляющей исследований использовались данные по среднегодовому содержанию соединений марганца (*Mn*), никеля (*Ni*) и железа (*Fe*), нефтепродуктов (*Н/п*), фенолов (*Фен*), азота аммонийного (NH_4), меди (*Cu*), цинка (*Zn*), содержание которых в воде рек ежегодно

публикуются в Государственных докладах «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан» (2005–2019).

Статистический анализ материала проводился в прикладной программе MS *Excel for Windows*. Нормальность распределения показателей постоянства гидробионтов на створах проверялась по критерию Шапиро–Уилки в программе *Statistica* 10. Сила связи между показателями постоянства гидробионтов и показателями содержания в водах химических поллютантов оценивалась по коэффициенту корреляции Пирсона. Для проведения регрессионного анализа и интерпретации результатов использовался онлайн-калькулятор математического форума *Math Help Planet* (МНК и регрессионный анализ Онлайн). Все статистические расчеты проводились при уровне значимости 0,05 (95%).

Результаты и их обсуждение. Ранее проведенные исследования автором данной статьи (Чаус, 1994) показали, что для верхнего течения реки Белая характерна нимфеидно-элодеидная зона. Здесь прибрежно-водные макрофиты образуют разнообразные по структуре и биотопической приуроченности сообщества. Наряду с одноярусными ассоциациями нимфеидов и элодеидов встречаются двухярустные группировки, состоящие из ценобионтов двух этих зон. На ряде участков нимфеиды вместе с элодеидами образуют довольно значительные заросли, которые, по-видимому, являются мощным биофильтром, задерживающим взвешенные частицы, биогенные вещества и органику [6].

По своему гидрохимическому составу воду в верхнем течении реки Белая по классификации О.А. Алекина (1946) можно отнести к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации – к пресной, по степени жесткости – к жесткой, по величине pH – к нейтрально-слабощелочной [2]. Анализ содержания химических веществ за период с 2005 г по 2018 г показывает, что для реки Белая в ее верхнем течении были характерны высокие концентрации соединений марганца и общего железа (рис. 2).

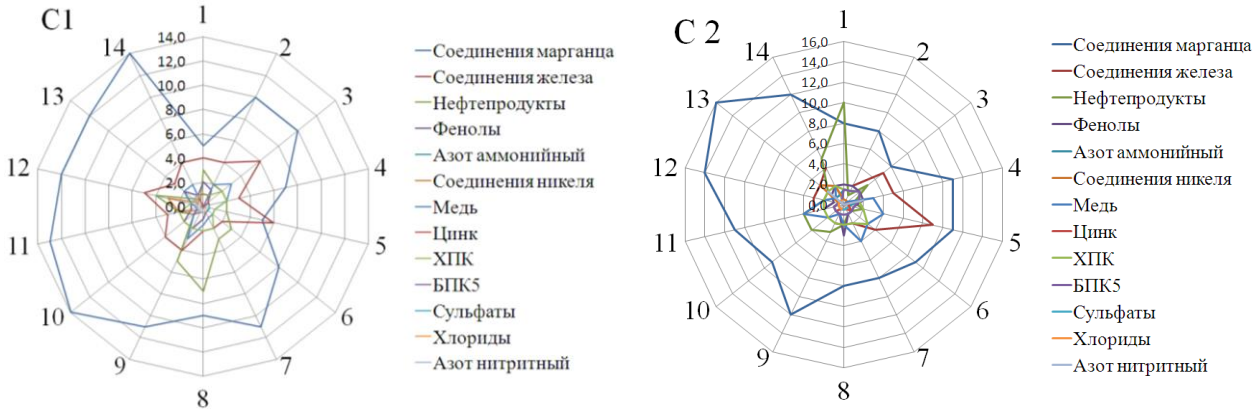


Рис. 2. Динамика содержания химических веществ и их соединений (в кратности превышения ПДК) в верхнем течении реки Белая за период с 2005 по 2018 гг. (1-14)

Анализ показателей постоянства видов ВВР в верхнем течении реки Белая за период с 2005 по 2018 гг. (рис. 3) показал, что по среднему показателю постоянства изученные виды растений на створах могут быть постоянными (среднее значение $P > 0,5$), добавочными (среднее значение $P = 0,25–0,4$) и случайными (среднее значение $P < 0,25$) (табл. 2).

Таблица 2

Категории постоянства видов ВВР в реке Белая (створы 50 и 51, согласно рис. 1) за период с 2005 по 2019 гг.

Створ	Категория постоянства		
	Постоянные виды	Добавочные виды	Случайные виды
50	*L. minor*	*S. sagittifolia, B. umbellatus, E. canadensis, P. natans, P. perfoliatus, P. crispus, P. pectinatus, C. demersum, S. polyrhiza*	
51	*L. minor*	*S. sagittifolia, B. umbellatus, P. natans, P. perfoliatus, P. crispus, C. demersum, S. polyrhiza*	*E. canadensis*

Относительно стабильное постоянство (категория – постоянный вид) на изученных участках за годы исследований было характерно лишь для *L. minor*, что, по-видимому, связано с повышенным содержанием биогенных веществ в р. Белая в ее верхнем течении. Постоянство *E. canadensis* в верхнем течении р. Белая обладает значительной динамикой. Такие виды ВВР, как *S. sagittifolia, B. umbellatus,*

P. natans, P. perfoliatus, P. crispus, S. pectinatus, C. demersum, S. polyrhiza и *M. spicatum* можно охарактеризовать с позиции добавочных видов.

Построение корреляционно-регрессионных моделей позволило выявить лишь две сильные прямые связи между показателями постоянства *B. umbellatus* и *C. demersum*, относящихся к категориям добавочных видов, с содержанием химических поллютантов в районе дома отдыха «Арский камень» (табл. 3).

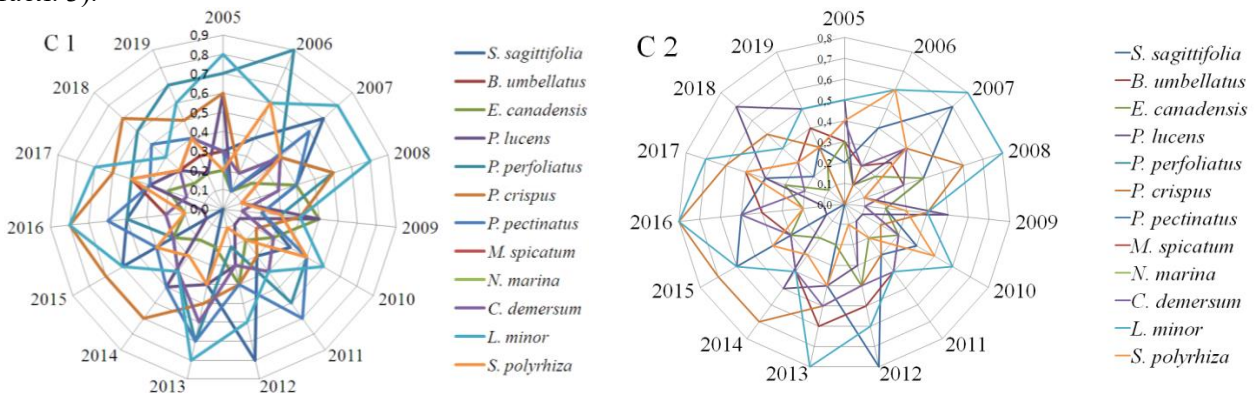


Рис. 3. Динамика показателей постоянства представителей высшей водной растительности в верхнем течении реки Белая

Таблица 3

Линейная интерполяция связи показателей постоянства (Y) представителей высшей водной растительности с содержанием поллютантов (x, в кратности превышения ПДК) в верхнем течении реки Белая

Y	x	r	УР	R^2	F		A (%)
					$F_{факт.}$	$F_{табл.}$	
район дома отдыха «Арский камень» (створ 51)							
B. umbellatus	Н/п	0,8	Y=0,1x+0,1	0,6	23,7	5,0	23,8
C. demersum	Н/п	0,9	Y=0,1x+0,1	0,6	14,1	5,0	29,0

Примечание: r – коэффициент корреляции; R^2 – коэффициент детерминации; F – критерии Фишера; A – средняя ошибка аппроксимации

Исходя из полученных регрессионных моделей, можно предположить, что при постоянстве *B. umbellatus* и *C. demersum* ≈ 0,2 содержание нефтепродуктов в р. Белая в районе д/о «Арский камень» будет составлять норму − 1ПДК (0,05 мг/л).

Выводы. Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать следующие выводы: в верхнем течении реки Белая (Республика Башкортостан) к постоянным видам можно отнести лишь ряску малую (*L. minor*); такие виды ВВР, как *S. sagittifolia, B. umbellatus, P. natans, P. perfoliatus, P. crispus, S. pectinatus, C. demersum, S. polyrhiza* и *M. Spicatum,* можно отнести к категории добавочных видов; значительный интерес представляет элодея канадская, которую в районе ж/с «Шушпа» можно отнести к категории добавочного вида, а в районе д/о «Арский камень» – к категории случайного вида; построение корреляционно-регрессионные моделей показало, что сильные корреляционные связи за период исследований проявлялись между показателями постоянства представителя нимфеид – сусака зонтичного (*B. umbellatus*) и представителя макрофитопланктона — роголистника погруженного (*C. demersum*) с содержанием нефтепродуктов в районе д/о «Арский камень». Ввиду того, что нефтепродукты являются токсичными для рыбохозяйственных водоемов, то необходим поиск и устранение источников их попадания в р. Белая на этом участке.

Литература

1. Абакумов В.А., Сущеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: труды международного симпозиума. М., 1991. С. 41-51.

2. Алекин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод // Труды НИУ ГУГМС. Вып. 32. Л.: Гидрометеоиздат, 1946. С. 14-35.

3. Алексеев Ю.Е., Галеева А.Х., Губанов И.А. и др. Определитель высших растений Башкирской АССР. М., 1988. Ч. 1. 1988. 316 с. Ч. 2. 1999. 375 с.

4. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирования факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Успехи современной биологии. 2002. Т. 122. №2. С. 115-135.

5. Гигевич Г.С. Высшие водные растения Беларуси: Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. Мн.: БГУ, 2001.

6. Горлова Р.Н. Макрофиты-индикаторы состояния водоема // Водные ресурсы. 1992. №6. С. 59-73.

7. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды республики Башкортостан». Уфа. 2019.

8. Государственный водный кадастр. Бассейн р. Камы. Уфа, 2017. С. 148.

9. Чаус Б.Ю. Региональный мониторинг природных и сточных вод методами биоиндикации и биотестирования на примере р. Белая (Башкортостан): Автореф. … канд. биол. наук. М.: МГУ. 1994. 24 с.

10. Чаус Б.Ю. Биоиндикация как подход к моделированию гидрохимического режима реки Белой (Россия, Республика Башкортостан) // European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches. Papers of the 1st International Scientific Conference. December 17-19, Stuttgart, Germany, 2012. P. 12-14.

11. Чаус Б.Ю. Оценка биоэкологического состояния реки Белой (Республика Башкортостан) по показателям обилия высшей водной растительности // Путь науки. 2015. №11 (21), С. 35-39.

12. Чаус Б.Ю. Индикация химического загрязнения воды рек Южного Урала с использованием высшей водной растительности // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2018. №1(21). С. 31-42.

13. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 1995. 992 с.

14. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

References

1. Abakumov, V.A., & Sushchenya, L.M. (1991). Gidrobiologicheskii monitoring presnovodnykh ekosistem I puti ego sovershenstvovaniya. In *Ekologicheskie modifikatsii I kriterii ekologicheskogo normirovaniya: 105rete mezhduna-rodnogo simpoziuma*, Moscow. 41-51. (in Russ.).

2. Alekin, O.A. (1946). K voprosu o khimicheskoi klassifikatsii prirodnykh vod. *Trudy NIU GUGMS*, 32. Leningrad. 14-35. (in Russ.).

3. Alekseev, Yu.E., Galeeva, A.Kh., & Gubanov, I.A. (1988-1999). Opredelitel' vysshikh rastenii Bashkirskoi ASSR. Moscow. (in Russ.).

4. Bulgakov, N.G. (2002). Indikatsiya sostoyaniya prirodnykh ekosistem I normirovaniya faktorov okruzhayushchei sredy. Obzor sushchestvuyushchikh podkhodov. *Uspekhi sovremennoi biologii, 122*(2). 115-135. (in Russ.).

5. Gigevich, G.S. (2001). Vysshie vodnye rasteniya Belarusi: Ekologo-biologicheskaya kharakteristika, ispol'zovanie I okhrana. Minsk. (in Russ.).

6. Gorlova, R.N. (1992). Makrofity-indikatory sostoyaniya vodoema. *Vodnye resursy*, (6). 59-73. (in Russ.).

7. Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii prirodnykh resursov I okruzhayushchei sredy respubliki Bash-kortostan" (2019). Ufa. (in Russ.).

8. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr (2017). Bassein r. Kamy. Ufa. (in Russ.).

9. Chaus, B.Yu. (1994). Regional'nyi monitoring prirodnykh I stochnykh vod metodami bioindikatsii I biotesti-rovaniya na primere r. Belaya (Bashkortostan): Avtoref. … kand. 105ret. nauk. Moscow. (in Russ.).

10. Chaus, B.Yu. (2012). Bioindikatsiya kak podkhod k modelirovaniyu gidrokhimicheskogo rezhima reki Beloi (Rossiya, Respublika Bashkortostan). In *European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches. Papers of the 1st International Scientific Conference. December 17-19, Stuttgart, Germany*, 12-14. (in Russ.).

11. Chaus, B.Yu. (2015). Otsenka bioekologicheskogo sostoyaniya reki Beloi (Respublika Bashkortostan) po pokazate-lyam obiliya vysshei vodnoi rastitel'nosti. Put' nauki, (11 (21)), 35-39. (in Russ.).

12. Chaus, B.Yu. (2018). Indikatsiya khimicheskogo zagryazneniya vody rek Yuzhnogo Urala s ispol'zovaniem vysshei vodnoi rastitel'nosti. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki, (1(21)), 31-42. (in Russ.).

13. Cherepanov, S.K. (1995). Sosudistye rasteniya Rossii I sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR). St. Petersburg. (in Russ.).

14. Shitikov, V.K., Rozenberg, G.S., & Zinchenko, T.D. (2003). Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii. Tol'yatti. (in Russ.).

Чаус Б.Ю. Подход к оптимизации экологического мониторинга качества воды с применением показателей постоянства высшей водной растительности (на примере верхнего течения реки Белая в республике Башкортостан) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 101-105. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/13

Chaus, B.Yu. (2021). Approach to Optimizing Ecological Monitoring of Water Quality Using Indicators of Constancy of Higher Water Vegetation (using example of Upper Course of White River in Bashkortostan Republic). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 101-105. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/13

дата поступления: 22.11.2020 дата принятия: 10.03.2021

УДК 631.45/504.062
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/14

Мищенко Н.В., Курочкин И.Н., Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НЕОБРАБАТЫВАЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ, ГУМУСА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Mischenko N.V., Kurochkin I.N., Chugay N.V., Kulagina E.Yu.

ASSESSMENT OF THE STATE OF SOILS OF UNCULTIVATED AGRICULTURAL LANDS BY INDICATORS OF ENZYMATIC ACTIVITY, HUMUS AND HEAVY METALS

Аннотация. На необрабатываемых сельхозугодьях Владимирской области, расположенных в бассейне реки Клязьма, были проведены исследования по определению содержания в почвах таких показателей, как ферментативная активность, гумус, тяжелые металлы. В 2018 г. на территории бассейна реки Клязьма в 13 точках различных ландшафтных районов были отобраны образцы почвы. По результатам исследований была установлена положительная зависимость между активностью почвенных ферментов и содержанием в почве гумуса. В почвах необрабатываемых сельхозугодий с высоким содержанием почвенных ферментов было выявлено высокое процентное отношение содержания гумуса – от 2,88% до 3,96%. Также былаустановлена зависимость между показателями активности почвенных ферментов и антропогенным воздействием. Так, при переходе от залежи к лугу, т.е. при уменьшении антропогенного влияния на почвы, наблюдается резкое увеличение в почве активности инвертазы, каталазы и дегидрогеназы, идет интенсивыный процесс гумификации почвы. Выявленные концентрации тяжелых металлов в образцах почв необрабатываемых сельхозугодий не превышают нормативов установленных ориентировочно допустимых концентраций, однако их количественное содержание значительно выросло за последнее десятилетие. В почвах происходит их накопление и возникает потенциальная опасность в случае вторичного ввода данных почв в сельскохозяйственное использование.

Ключевые слова: бассейн реки Клязьма, дерново-подзолистые почвы, серые лесные почвы, ферментативная активность, инвертаза, дегидрогеназа, каталаза, гумус, тяжелые металлы.

Контактная информация: Мищенко Наталья Владимировна, д-р биол. наук, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия; Курочкин Иван Николаевич, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия, ivan33vl@yandex.ru; Чугай Наталья Валерьевна, канд. биол. наук, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия; Кулагина Екатерина Юрьевна, канд. биол. наук, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия.

Abstract. Studies were conducted to determine such indicators as humus, heavy metals, and enzymatic activity in the soils of uncultivated farmlands of the Vladimir region located in the Klyazma river basin. In the course of field research in 2018, soil samples were selected at 13 points representing various landscape areas belonging to the Klyazma river basin. According to the results of research, a positive relationship between the activity of soil enzymes and the content of humus was established. In the soils of uncultivated farmland, where there is a high concentration of soil enzymes, a high percentage of humus was found – from 2.88% to 3.96%. The dependence between the indicators of activity of soil enzymes and anthropogenic impact was revealed. Thus, the transition from deposits to the meadow, i.e. reduce anthropogenic impact on the soil, there is a sharp increase in the activity of soil invertase, catalase and dehydrogenase, an active process of humification of soil. The detected concentrations of heavy metals in soil samples of uncultivated farmland do not exceed the standards set for the approximate permissible concentrations, but their quantitative content has increased significantly over the past decade, their accumulation occurs and there is a potential danger in the case of secondary input of these soils into agricultural use.

Keywords: Klyazma river basin, sod-podzolic soils, gray forest soils, enzymatic activity, invertase, dehydrogenase, catalase, humus, heavy metals.

About the authors: Mishchenko Natalya Vladimirovna, Dr. habil., Vladimir State University, Vladimir, Russia; Kurochkin Ivan Nikolaevich, Vladimir State University, Vladimir, Russia, ivan33vl@yandex.ru; Chugay Natalya Valerievna, PhD., Vladimir State University, Vladimir, Russia; Kulagina Ekaterina Yurievna, Ph.D., Vladimir State University, Vladimir, Russia.

Введение. В настоящее время во многих сельскохозяйственных регионах страны увеличивается количество необрабатываемых пахотных земель. При выходе из сельскохозяйственного оборота почвы теряют свои свойства, определяющие их плодородие, в том числе, изменяется их биологическая активность. Неиспользуемые сельскохозяйственные угодья, – залежи, – являются примером восстановительной сукцессии: в первые несколько лет зарастают однолетними и двухлетними растениями, позже – корневищными растениями, кустарниками и деревьями. При этом на залежах

накапливается органическое вещество, образуется дернина, почва становится более плотной. Ферментативная активность отражает состояние плодородия почв и внутренние изменения, происходящие при сельскохозяйственном использовании. Совместно с другими критериями оценка ферментативной активности может служить надежным диагностическим показателем для выявления степени окультуренности почв, т. к. обработка почв, внесение удобрений и проведение мероприятий, направленных на повышение плодородия почв, существенно изменяют экологическую нишу для развития почвенных микроорганизмов [1; 3].

Ферменты, относящиеся к классам гидролаз и оксидоредуктаз (инвертаза, уреаза, фосфатаза, протеаза и др.), участвуют в основных процессах гумификации почв, поэтому их активность –важный показатель плодородия почв. По мнению ряда исследователей, ферментативная активность почвы является отражением взаимодействия некоторых тяжелых металлов и микроорганизмов, что позволяет говорить о влиянии загрязнения тяжелыми металлами на ферментативную активность почвы [3]. Накопление в почвах необрабатываемых сельскохозяйственных угодий больших концентраций тяжелых металлов вызывает угнетение микрофлоры и микрофауны почвы, ее биохимических процессов и ухудшение состояния растительности этих территорий, что может привести к невозможности вторичного ввода почв в сельскохозяйственное использование. Загрязненность почвенного покрова пахотных земель следует рассматривать как нарушение природного равновесия, потерю возможности самовосстановления и переход к необратимым деградационным процессам [9]. Как известно, тяжелые металлы характеризуются низкой подвижностью в почвах и высокой способностью к аккумуляции [2; 15]. Поведение тяжелых металлов во многом зависит от окислительно-восстановительных процессов почвы, наличия сложных биогеоценозов и прочих факторов. В результате воздействия солей тяжелых металлов происходит угнетение процессов жизнедеятельности микрофлоры и микрофауны почвы, нарушение ее биохимических процессов, приводящих к ухудшению состояния или гибели растительности на данной территории [16].

Целью настоящего исследования является оценка состояния почв необрабатываемых сельскохозяйственных угодий по показателям ферментативной активности, гумуса и тяжелых металлов.

Объекты и методы исследования. Объектом исследований являются почвы необрабатываемых сельскохозяйственных угодий Владимирской области и частично Ивановской области, расположенные в бассейне реки Клязьма, представленные в основном дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами с различным характером зарастания. В ходе проведения полевых исследований в 2018 г. на территории бассейна реки Клязьма в 13 точках различных ландшафтных районов были отобраны образцы почвы.

Ландшафты, относящиеся к территории Ковровского района (Точки № 1-3), а также западная часть Вязниковского района (Точки № 4-5) представляют собой слаборасчлененную пологоволнистую равнину с заболачиванием пониженных участков. На суглинистых и песчаных дерново-подзолистых почвах произрастают елово-широколиственные леса. Центральная и восточная части Вязниковского района (Точки № 6-7) располагаются на слаборасчлененной пологонаклонной равнине с преимущественно песчаными, дерново-подзолистыми почвами. Преобладают елово-широколиственные леса. Правобережье Клязьмы в Собинском районе (Точка № 8) относится к лесным заболоченным зандровым ландшафтам Мещерской провинции. Плоская пониженная и пологоволнистая равнина слабо расчленена. На песчаных дерново-подзолистых почвах произрастают сосновые южнотаежные леса. Ландшафты по левому берегу Клязьмы относятся к Клинско-Дмитровской и Волжско-Клязьминской ландшафтным провинциям. Собинский и Александровский районы (Точки № 9-11) представлены восточной оконечностью Клинско-Дмитровской гряды с сильно развитой долинно-балочной сетью. В настоящее время большая часть территории распахана, современные остатки лесов в основном осиново-дубовые. Ландшафты юга Ивановской области (Точки № 12-13) относятся к центральной части Волжско-Клязьминской провинции и характеризуются суглинистыми дерново-подзолистыми почвами и неглубоким залеганием материнских пород [13].

Собинский и Александровский районы представлены серыми лесными почвами, они занимают значительную часть территории данных административных единиц. Все остальные точки пробоотбора располагаются на дерново-подзолистых почвах.

Точки пробоотбора № 1-3 расположены на территории Ковровского района (Рис. 1) и находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Они представляют собой последовательность фитоценозов «лес-залежь-луг», такое расположение позволяет сравнить основные агрохимические показатели почв при переходе от одного фитоценоза к другому. При оценке биологической активности почв проводилось определение каталазы, дегидрогеназы и инвертазы. Анализы выполнены стандартными

Рис. 1. Фрагмент спутникового снимка с нанесенными точками отбора проб № 1-3

методами оценки ферментативной активности почв [11]. Каталазная активность определялась газометрическим методом, дегидрогеназная активность – ТТХ-формазановым методом. Инвертазная активность определялась по учету восстанавливающих сахаров [5]. Каждый анализ был выполнен в трех аналитических повторностях со средней пробой, при градации ферментативной активности почв использовалась оценочная шкала по Д.Г. Звягинцеву.

Содержание гумуса определялось по ГОСТ 26231-91, кислотность солевых вытяжек почвенных образцов определялалась по ГОСТ 26483-85, концентрации тяжелых металлов в образцах почв определялись рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «Спектроскан-МАКС-G».

Обсуждение результатов. В результате исследования получены данные по содержанию органического вещества (гумуса) в почвенных образцах, ферментативной активности и содержанию тяжелых металлов. В таблице 2 приведены данные, характеризующие рельеф, растительный покров на точках отбора, а также результаты анализа ферментативной активности.

Таблица 1

Содержание ферментов и гумуса в почвах

Тип почвы, фитоценоз	Содержание ферментов			Гумус, %
	Инвертаза, мг глюкозы/г*сут$^{-1}$	Дегидрогеназа, мг ТФФ/10г*сут$^{-1}$	Каталаза, мл/г*мин$^{-1}$	
Дерново-подзолистая почва, смешанный лес	9,5	<1	38	3,24
Дерново-подзолистая почва, зарастающая залежь	49	63,8	5	2,7
Дерново-подзолистая почва, разнотравный луг	61,3	<1	8	3,33
Дерново-подзолистая почва, злаково-разнотравный луг	56,8	<1	3	4,6
Дерново-подзолистая почва, смешанный лес	8,6	10,5	6	3,49
Дерново-подзолистая почва, разнотравный злаковый луг	50,5	98,8	5	3,64
Дерново-подзолистая почва, злаковая залежь	53	77,3	33	3,96
Дерново-подзолистая почва, разнотравный луг	27,8	79,3	23	0,7
Серая лесная почва, равнина, высота – 169 м, поле, засаженное клевером и люцерной	69,1	<1	17	2,88
Серая лесная почва, суходольный луг	57,9	<1	35	3,31
Серая лесная почва, зарастающая залежь	14,2	<1	10	0,96
Дерново-подзолистая почва, зарастающая залежь	4,7	22,3	8	1,18
Дерново-подзолистая почва, суходольный луг	9,4	75,9	2	1,46

На исследуемых территориях выявлены почвы с различными показателями ферментативной активности. В точках № 1, 3, 4, 9-11 (Ковровский, Вязниковский, Собинский и Александровский районы) – почвы с низкими показателями, в особенности дегидрогеназы, где зафиксированы значения менее 1 мг ТФФ/10 г сут-1, что говорит об очень низкой обогащенности почвенными ферментами. В точках № 2, 7 и 10 (Ковровский, Вязниковский и Собинский районы) – почвы с высокими показателями по двум из трех исследуемых ферментов сразу. В ряде исследований отмечалось, что морфологические особенности дерново-подзолистых почв определяют и невысокий уровень их биологической активности [8].

Полученные в исследовании данные по содержанию почвенных ферментов позволяют судить о процессах гумификации и окультуривания почв. Так, наибольшей ферментативной активностью характеризуются почвы Вязниковского и Собинского районов Владимирской области, где степень обогащенности почв дегидрогеназой и каталазой достаточно высокая. В то же время почвы Собинского и Александровского районов, представленные серыми лесными почвами, отличаются большим плодородием по сравнению с дерново-подзолистыми несмотря на то, что уровень ферментативной активности у них ниже. Наименьшие показатели отмечены даже не на лугу, а у молодой залежи, что объясняется истощением почвы вследствие интенсивного ведения процессов земледелия (табл. 1).

Установлено, что наименьшие показатели инвертазной активности зафиксированы на почвах под растительными ассоциациями в виде смешанного леса, а также на суглинистых дерново-подзолистых почвах в центральной части Волжско-Клязьминской провинции. Эти почвы также характеризуются низким содержанием гумуса (менее 1,5%).

Анализ результатов, полученных на последовательности фитоценозов «луг-залежь-лес», показывает, что прослеживается определенная зависимость между показателями активности почвенных ферментов и антропогенным воздействием. Так, при переходе от залежи к лугу, т. е. при уменьшении антропогенного влияния на почвы, наблюдается резкое увеличение в почве активности инвертазы, каталазы и дегидрогеназы. Хотя показатели инвертазной активности серых лесных почв соответствуют средним показателям для серых лесных слабооподзоленных почв Владимирской области [7], активность инвертазы почв под смешанным лесом намного меньше средних показателей, полученных при исследованиях дерново-подзолистых легкосуглинистых почв в условиях лесных агроэкосистем [6; 10]. Корреляционных зависимостей между содержанием гумуса и активностью дегидрогеназы или каталазы не выявлено.

Согласно полученным данным установлены некоторые соответствия между показателями плодородия почв, геоботаническими характеристиками и количественным содержанием ферментов в почвенных образцах. Так, в почвах, характеризующихся высокой степенью обогащенности инвертазой (свыше 50 мг глюкозы/г сут$^{-1}$), процентное содержание гумуса по сравнению с другими образцами достаточно высокое и лежит в пределах от 2,88% и выше. Определение содержания тяжелых металлов в почвенных образцах и сравнение полученных результатов с их ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) в почве (ГН 2.1.7.2511 – 09) позволило судить о наличии загрязнения почв тяжелыми металлами на исследуемых территориях. Результаты, полученные при анализе почвенных образцов на количественное содержание тяжелых металлов, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и кислотность почвенных образцов (мг/кг)

№ об-ца	Кислотность солевой вытяжки, pH	Pb	Zn	Cu	Ni
1	5,75 (близкая к нейтральной)	82,40	42,45	39,85	21,09
2	4,69 (среднекислая)	64,71	49,90	53,12	30,89
3	6,55 (нейтральная)	97,67	78,70	65,62	26,40
4	5,44 (слабокислая)	60,57	72,21	93,74	45,43
5	4,35 (сильнокислая)	91,96	48,56	36,26	15,70
6	6,48 (нейтральная)	92,66	57,33	22,04	27,65
7	5,95 (близкая к нейтральной)	68,18	79,99	111,28	48,69
8	3,9 (очень сильнокислая)	62,25	55,58	0,029	16,66
9	6,18 (нейтральная)	83,10	25,50	4,39	13,48
10	6,1 (нейтральная)	69,43	110,32	128,01	58,62
11	5,89 (близкая к нейтральной)	51,74	80,20	119,72	55,31
12	5,83 (близкая к нейтральной)	61,05	86,51	79,27	57,65
13	5,71 (близкая к нейтральной)	59,72	68,15	82,02	35,78
	ОДК для почв с pHKCl< 5,5, мг/кг [4]	**65**	**110**	**66**	**40**
	ОДК для почв с pH> 5,5, мг/кг [4]	**130**	**220**	**132**	**80**

Согласно полученным данным установлены единичные превышения ОДК по свинцу, меди и никелю. Не выявлено зависимости активности почвенных ферментов от концентраций тяжелых металлов в отобранных образцах проб. Результаты исследования показывают, что даже при концентрациях цинка, меди и свинца, близких к ОДК, наблюдается высокая активность инвертазы и каталазы. Т. о. можно считать, что в целом исследуемые почвы не загрязнены соединениями тяжелых металлов. Однако содержание тяжелых металлов в образцах почв необрабатываемых сельхозугодий значительно превышают валовое содержание тяжелых металлов в почвах сельхозугодий (по данным

за 2003 г.) [14] и статистическим данным по Владимирской области (за 2017 г.) [12], что говорит об их значительном накоплении в почве за последние десятилетия и потенциальной опасности в случае вторичного ввода почв в сельскохозяйственное использование.

Выводы. По результатам исследований установлена положительная зависимость между активностью почвенных ферментов и содержанием гумуса. В почвах необрабатываемых сельхозугодий, где отмечена высокая обогащенность почвенными ферментами, выявлено высокое содержание гумуса – от 2,88% до 3,96%.

Выявлена зависимость между показателями активности почвенных ферментов и антропогенным воздействием: при переходе от залежи к лугу, т. е. при уменьшении антропогенного влияния на почвы, наблюдается резкое увеличение в почве активности инвертазы, каталазы и дегидрогеназы, что говорит об активном процесс гумификации почвы. Содержание тяжелых металлов в почвах необрабатываемых сельхозугодий не превышает нормативов, установленных ОДК, однако их количественное содержание значительно выросло за последнее десятилетие. Происходит их накопление и возникает потенциальная опасность в случае вторичного ввода данных почв в сельскохозяйственное использование.

Литература

1. Байсеитова Н.М., Сартаева Х.М. Фитотоксичное действие тяжелых металлов при техногенном загрязнении окружающей среды // Молодой ученый. 2014. № 2 (61). С. 379-382.

2. Боев В.М., Быстрых В.В., Горлов А.В., Карпов А.И., Кудрин В.И. Урбанизированная среда обитания и здоровье человека. Оренбург: Димур. 2004. 240 с.

3. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Ферментативная индикация загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия, 2006. № 11. С. 84-96.

4. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.

5. Зинченко М.К., Зинченко С.И. Влияние приемов обработки и доз удобрений на ферментативную активность серой лесной почвы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 8. С. 3-5.

6. Зинченко М.К., Зинченко С.И., Борин А.А., Камнева О.П. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 3.

7. Зинченко М.К., Зинченко С.И. Ферментативный потенциал агроландшафтов серой лесной почвы Владимирского ополья // Успехи современного естествознания. 2015. № 1-8. С. 1319-1323.

8. Козлов А.В., Селицкая О.В. Значение микроорганизмов в поддержании устойчивости почв к воздействию антропогенных факторов // Вестник Мининского университета. 2015. № 3 (11). С. 27-28.

9. Комаров В.И., Селиванов О.Г., Марцев А.А., Подолец А.А., Лукьянов С.Н. Содержание тяжелых металлов в пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области // Агрохимия. 2019. № 12. С. 75-82.

10. Стефанькина Л.М. Зависимость урожая ячменя от содержания гумуса и биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы: Автореф. … канд. с.- х. наук. Рига, 1976.

11. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М., 1972. 343 с.

12. О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2017 году: ежегодный доклад. Вып. 25. Владимир: Транзит-ИКС, 2018. 118 с.

13. Трифонова Т.А. Экологический атлас бассейна реки Клязьма: Человек в окружающей среде. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. 312 с.

14. Трифонова Т.А. Экологический атлас Владимирской области. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. 92 с.

15. Zong Y., Xiao Q., Lu S. Magnetic signature and source identification of heavy metal contamination in urban soils of steel industrial city, Northeast China // Journal of soils and sediments. 2017. Vol. 17. №1. P. 190-203. https://doi.org/10.1007/s11368-016-1522-2

16. Shi T., Ma J., Zhang Y., Liu C., Hu Y., Gong Y., Zhao L. et al. Status of lead accumulation in agricultural soils across China (1979–2016) // Environment international. 2019. Vol. 129. P. 35-41. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.025

References

1. Baiseitova, N.M., & Sartaeva ,Kh.M. (2014). Fitotoksichnoe deistvie tyazhelykh metallov pri tekhnogennom zagryaznenii okruzhayushchei sredy. *Molodoi uchenyi*, (2(61)), 379-382. (in Russ.).

2. Boev, V.M., Bystrykh, V.V., Gorlov, A.V., Karpov, A.I., & Kudrin, V.I. (2004). Urbanizirovannaya sreda obitaniya I zdorov'e cheloveka. Orenburg. (in Russ.).

3. Galiulin, R.V., & Galiulina, R.A. (2006). Fermentativnaya indikatsiya zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami. *Agrokhimiya,* (11). 84-96. (in Russ.).

4. GN 2.1.7.2511-09 Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve. (in Russ.).

5. Zinchenko, M.K., & Zinchenko, S.I. (2017). Vliyanie priemov obrabotki I doz udobrenii na fermentativnuyu aktivnost' seroi lesnoi pochvy. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, (8), 3-5. (in Russ.).

6. Zinchenko, M.K., Zinchenko, S.I., Borin, A.A., & Kamneva, O.P. (2017). Fermentativnaya aktivnost' agrarnykh pochv Verkhnevolzh'ya. *Sovremennye problemy nauki I obrazovaniya*, (3). (in Russ.).

7. Zinchenko, M.K., & Zinchenko, S.I. (2015). Fermentativnyi potentsial agrolandshaftov seroi lesnoi pochvy Vladimirskogo opol'ya. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, (1-8). 1319-1323. (in Russ.).

8. Kozlov, A.V., & Selitskaya, O.V. (2015). Znachenie mikroorganizmov v podderzhanii ustoichivosti pochv k vozdeistviyu antropogennykh faktorov. *Vestnik Mininskogo universiteta*, (3(11)). 27-28. (in Russ.).

9. Komarov, V.I., Selivanov, O.G., Martsev, A.A., Podolets, A.A., & Luk'yanov, S.N. (2019). Soderzhanie tyazhelykh metallov v pakhotnom gorizonte pochv sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Vladimirskoi oblasti. *Agrokhimiya*, (12). 75-82. (in Russ.).

10. Stefan'kina, L.M. (1976). Zavisimost' urozhaya yachmenya ot soderzhaniya gumusa I biologicheskoi aktivnosti dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy: Avtoref. … kand. s.- kh. nauk. Riga. (in Russ.).

11. Mishustin, E.N. (1972). Mikroorganizmy I produktivnost' zemledeliya. Moscow. (in Russ.).

12. O sostoyanii okruzhayushchei sredy I zdorov'ya naseleniya Vladimirskoi oblasti v 2017 godu: ezhegodnyi doklad (2018). 25. Vladimir. (in Russ.).

13. Trifonova, T.A. (2018). Ekologicheskii atlas basseina reki Klyaz'ma: Chelovek v okruzhayushchei srede. Vladimir. (in Russ.).

14. Trifonova, T.A. (2007). Ekologicheskii atlas Vladimirskoi oblasti. Vladimir. (in Russ.).

15. Zong, Y., Xiao, Q., & Lu, S. (2017). Magnetic signature and source identification of heavy metal contamination in urban soils of steel industrial city, Northeast China. *Journal of soils and sediments*, *17*(1), 190-203. https://doi.org/10.1007/s11368-016-1522-2

16. Shi, T., Ma, J., Zhang, Y., Liu, C., Hu, Y., Gong, Y., ... & Zhao, L. (2019). Status of lead accumulation in agricultural soils across China (1979–2016). *Environment international*, *129*, 35-41. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.025

Мищенко Н.В., Курочкин И.Н., Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю. Оценка состояния почв необрабатываемых сельскохозяйственных угодий по показателям ферментативной активности, гумуса и тяжелых металлов // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 106-111. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/14

Mischenko, N.V., Kurochkin, I.N., Chugay, N.V. & Kulagina, E.Yu. (2021). Assessment of the State of Soils of Uncultivated Agricultural Lands by Indicators of Enzymatic Activity, Humus, and Heavy Metals. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)), 106-111. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/14

дата поступления: 19.10.2020

дата принятия: 08.03.2021

УДК 631.46
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/15

Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Князев И.В., Кузнецова Т.В.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПРИ РАЗНОМ ОСТАТОЧНОМ СОДЕРЖАНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Vershinin A.A., Petrov A.M., Karimullin L.K., Knyazev I.V., Kuznetsova T.V.

PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF RECULTIVATED ALLUVIAL SOILS WITH DIFFERENT RESIDUAL CONTENT OF OIL PRODUCTS

Аннотация. Исследованы параметры дыхательной активности различных типов аллювиальных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов. В рекультивированных почвах не обнаружено ингибирующего действия нефтепродуктов на базальное дыхание. Субстрат-индуцированное дыхание большинства почв оставалось на уровне контроля либо несколько снижалось. Почвы значительно отличались по степени устойчивости их микробного пула к действию нефтепродуктов. Микрофлора аллювиальных почв способна преодолевать негативное влияние высоких концентраций нефти. В рекультивированных почвах не выявлено *сильное* влияние нефти на сообщества почвенных микроорганизмов. Преобладало *среднее* или *слабое* воздействие. Микробные сообщества легких аллювиальных почв более устойчивы к воздействию нефтепродуктов. Проведение восстановительных мероприятий на аллювиальных луговых почвах потребует большего внимания, чем рекультивационные работы, проводимые на аллювиальных болотных и луговых почвах.

Ключевые слова: аллювиальные почвы; нефтепродукты (НП); микробное сообщество; дыхательная активность; коэффициент микробного дыхания (Qr).

Сведения об авторах: Вершинин Анатолий Андреевич, ORCID: 0000-0002-1807-5727, канд. биол. наук, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, A-vershinin@mail.ru; Петров Андрей Михайлович, ORCID: 0000-0002-5117-2609, канд. биол. наук, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, zpam2@rambler.ru; Каримуллин Ленар Камилович, ORCID: 0000-0002-3897-4981, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, Karlenar@yandex.ru; Князев Игорь Владимирович, ORCID: 0000-0002-4336-984X, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, Kneze3@yandex.ru; Кузнецова Татьяна Васильевна ORCID: 0000-0001-7346-6221, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, kuznetsovatatyana@mail.ru

Abstract. The respiratory activity parameters of various types of alluvial soils with different residual content of oil products were studied. The inhibitory effect of oil products on basal respiration in re-cultivated soils was not found. The substrate-induced respiration of most soils remained at the control level or decreased slightly. Soils differed significantly in the degree of resistance of their microbial pool to oil products. The microflora of alluvial soils is able to overcome the negative effects of high oil concentrations. In remediated soils, a strong effect of oil on the community of soil microorganisms was not found, while medium or low impact prevailed. Microbial communities of light alluvial soils showed more resistance to oil products. Restoration measures on alluvial meadow soils require more attention than remediation of alluvial bog and meadow soils.

Keywords: alluvialsoils; oilproducts (OP); microbialcommunity; respiratoryactivity; coefficient of microbial respiration (Qr).

Information about authors: Vershinin Anatoly Andreevich, ORCID: 0000-0002-1807-5727, Ph.D., Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, A-vershinin@mail.ru; Petrov Andrey Michailovich, ORCID: 0000-0002-5117-2609, Ph.D., Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), zpam2@rambler.ru; Karimullin Lenar Kamilovich, ORCID: 0000-0002-3897-4981, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Karlenar@yandex.ru; Knyazev Igor Vladimirovich, ORCID: 0000-0002-4336-984X, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kneze3@ yandex.ru; Kuznetsova Tatyana Vasilevna, ORCID: 0000-0001-7346-6221, Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), kuznetsovatatyana@mail.ru.

Значительная часть речных пойм представлена аллювиальными почвами. Вследствие высокой плодородности на них осуществляется активная сельскохозяйственная деятельность. Загрязнение аллювиальных почв нефтью и продуктами ее трансформации не только снижает их плодородность, но и увеличивает риск попадания поллютантов в поверхностные воды, что требует проведения рекультивационных мероприятий. В связи с этим возникает закономерный вопрос: как уровень

остаточного содержания нефтепродуктов в рекультивированной аллювиальной почве влияет на физиологическую активность микробного пула, способность к восстановлению плодородия?

Рекультивированная почва может сохранять токсичность, обусловленную как самими нефтепродуктами, так и вторичными метаболитами, образующимися в процессе трансформации углеводородов нефти [16]. Аллювиальные почвы характеризуются слоистостью и обладают большим разнообразием состава и свойств. В связи с этим можно предположить, что способность различных типов аллювиальных почв преодолевать негативное воздействие нефтепродуктов будет отличаться. Самовосстановление экосистем определяется поведением аборигенных видов разного уровня организации: водорослей, грибов, травянистых и древесных растений [20]. Ведущая роль в нейтрализации поллютантов в почве отводится микрофлоре [7; 12; 14]. Скорость восстановления нормальных свойств почв определяется активностью ее микробного пула. Для оценки состояния и биологической активности почв применяются различные приемы: определяются качественный и количественный состав микрофлоры [6; 11; 13; 17]; ферментативная активность почв [1; 8; 9; 11]; интенсивность почвенного дыхания [2; 3; 16; 21]. Некоторые исследователи судят о состоянии микробного пула нефтезагрязненных почв по лизису колоний азотобактера, дезаминированию аминокислот и отношению микроорганизмов к кислороду [19].

В настоящем исследовании для определения биологической активности рекультивированных аллювиальных почв были использованы показатели почвенного дыхания. Многими авторами почвенное дыхание рассматривается как наиболее удобный и информативный показатель эколого-физиологического состояния почв [2; 3; 22]. Сведения о состоянии и потенциале микробного пула загрязненных почв позволяют экономически и экологически обосновать, оптимизировать проводимые рекультивационные и восстановительные мероприятия, осуществить разработку региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почве (ДОСНП).

Цель исследований состоит в оценке функционального состояния рекультивированных аллювиальных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в модельных опытах. Образцы почв были отобраны на территории Республики Татарстан, Чувашской Республики и Московской области. Изучаемые почвы представлены тремя типами: аллювиальная болотная иловато-глеевая, аллювиальная дерновая, аллювиальная луговая (табл. 1). Воздушно-сухую почву освобождали от механических примесей, остатков растений и вносили различное количество сернистой нефти Ямашинского месторождения Республики Татарстан.

Таблица 1

Интервалы остаточного содержания нефтепродуктов в опытных вариантах исследованных рекультивированных аллювиальных почв

Тип почвы	Условное обозначение	Механический состав	НП, г/кг
Аллювиальная болотная иловато-глеевая	Абс	Среднесуглинистая	1,7–11,7
	Абу	Супесчаная	1,1–9,9
Аллювиальная дерновая	Адт(М)	Тяжелосуглинистая	0,8–9,9
	Адт(Ч)	Тяжелосуглинистая	1,8–6,5
	Адт	Тяжелосуглинистая	1,9–6,0
	Адл	Легкосуглинистая	1,6–5,7
Аллювиальная луговая	Алс	Среднесуглинистая	1,6–5,8
	Алу(М)	Супесчаная	1,5–7,9
	Алу	Супесчаная	1,6–12,0

Эксперименты по условной рекультивации проводили в контейнерах размером 180x140x90 мм, содержащих по 1400 г воздушно-сухой почвы, при установленной влажности 60% от полной влагоемкости и температуре окружающего воздуха 20–25 °С. В качестве контроля (К) использовали чистые почвы. Еженедельно проводилось рыхление контрольных и опытных почвенных образцов. Длительность эксперимента составила 6 месяцев. Суммарное содержание нефтепродуктов (НП) в почве определяли ИК-спектрофотометрическим методом на анализаторе КН-2м [15]. Величину почвенного дыхания устанавливали газохроматографическим методом [5]. Были определены скорости базального дыхания (Vбазал) и субстрат-индуцированного дыхания (Vсид) [1], рассчитан коэффициент микробного дыхания (Qr = Vбазал/Vсид) [22].

Результаты исследований. Среди исследуемых почв встречались как легкие супесчаные почвы, так и почвы с тяжелым механическим составом (тяжелосуглинистые и легкоглинистые). Остаточное

содержание НП в опытных образцах определялось количеством внесенной нефти, типом почв и интенсивностью протекающих в них физико-химических и микробиологических процессов (табл. 1).

Известно, что загрязнение почвы нефтью сопровождается активизацией почвенного дыхания [3; 10]. В проведенных экспериментах интенсивность базального дыхания, отражающая доступность питательных субстратов, характеризовалась большим разнообразием. Выделяются три группы почв:

1. Почвы с низким уровнем Vбазал (Абс, Абу, Адл), Интенсивность дыхания этих почв практически не зависела от остаточного содержания поллютанта и составляла 2,27–3,80 мкг CO_2/г·час (рис. 1А);

2. В опытных образцах Алу, Адт и Алу(М) Vбазал возрастало по мере увеличения концентрации НП, а затем стабилизировалось либо несколько снижалось;

3. В почвах третьей группы Алс, Адт(М), Адт(Ч) Vбазал возрастала по мере увеличения остаточного содержания НП.

Таблица 1

Интервалы остаточного содержания нефтепродуктов в опытных вариантах исследованных рекультивированных аллювиальных почв

Тип почвы	Условное обозначение	Механический состав	НП, г/кг
Аллювиальная болотная иловато-глеевая	Абс	Среднесуглинистая	1,7–11,7
	Абу	Супесчаная	1,1–9,9
Аллювиальная дерновая	Адт(М)	Тяжелосуглинистая	0,8–9,9
	Адт(Ч)	Тяжелосуглинистая	1,8–6,5
	Адт	Тяжелосуглинистая	1,9–6,0
	Адл	Легкосуглинистая	1,6–5,7
Аллювиальная луговая	Алс	Среднесуглинистая	1,6–5,8
	Алу(М)	Супесчаная	1,5–7,9
	Алу	Супесчаная	1,6–12,0

При этом потолок скорости эмиссии CO_2 в испытанном интервале содержания поллютанта в этих почвах не был достигнут. Существенным обстоятельством является то, что во всех условно рекультивированных почвах даже при максимальных уровнях остаточного содержания не выявлено ингибирующее действие НП на интенсивность базального дыхания. Величина эмиссии CO_2 в рекультивированных почвах всегда была выше, чем в контрольных почвенных образцах. Повышенный уровень дыхания свидетельствует о продолжающейся деструкции НП.

Субстрат-индуцированное дыхание дает представление о количестве жизнеспособных микробных клеток, что позволяет оценить потенциал микробного пула почвы. В экспериментах обнаружены значительные различия в значениях Vсид изученных почв. Уровень Vсид в Абу почве не превышал 8,14 мкг CO_2/г·час, тогда как в Алс почве он достигал 39,52 мкг CO_2/г·час. При разном остаточном содержании НП в Адт почве наблюдались выраженные синусоидальные колебания значений Vсид (рис. 1Б), а в Адт(Ч) почве ее значения были ниже, чем в контроле. Принципиальное отличие Vсид от Vбазал исследуемых почв состояло в том, что в большинстве рекультивированных почв значения Vсид были близки к уровню контроля, тогда как значения базального дыхания во всех случаях были значительно выше, чем в контроле (рис. 1 А, Б).

Показатели Qr позволяют охарактеризовать устойчивость системы почвенных микроорганизмов к факторам воздействия, оценить стабильность микробного сообщества и разбалансированность почвенных окислительных процессов [3; 22]. Согласно [3; 21], значения Qr = 0,1-0,3 отражают достаточно устойчивое и стабильное состояние микробного пула. Более высокие величины указывают на наличие неблагоприятных климатических или антропогенных воздействий. Значения Qr, равные 1,0 и выше, являются индикатором крайней степени воздействия на микробоценозы почв. Из исследованных наиболее устойчивыми оказались микробные сообщества Алу(М), Алу, Абс почв, значения Qr которых в испытанном диапазоне содержания поллютанта варьировали в интервале 0,18–0,27 (рис. 1 В). В опытных вариантах рекультивированной Адт было зарегистрировано наибольше нарушение стабильности микробного пула, а в Адл и Адт(Ч) почвах разбалансированность процессов регистрировалась при содержании поллютанта выше 4,0 г/кг. Значения коэффициента микробного дыхания Абу, Адт(М) и Алс почв в испытанном диапазоне не превышали 0,4, что близко к «нормальному» состоянию микрофлоры и указывает на их способность к быстрому самовосстановлению свойств и плодородия (рис. 1В).

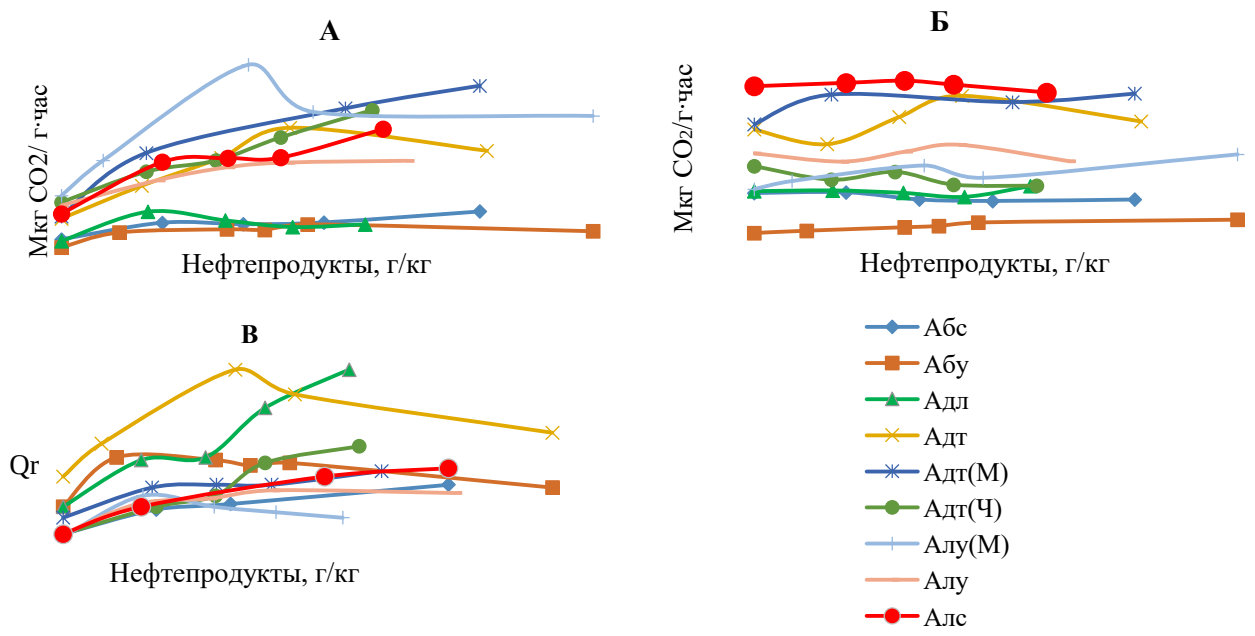


Рис. 1. Дыхательная активность рекультивированных аллювиальных почв: А – Vбазал; Б – Vсид; В – Qr.

Для определения функционального состояния рекультивированных нефтезагрязненных почв был также использован предложенный Благодатской и Ананьевой подход [4], согласно которому, степень негативного воздействия на микробное сообщество оценивается по величине Q`r равной отношению значений Qr загрязненной почвы к Qr контрольной почвы (Q`r = Qr загр./Qr контр.) (табл. 2).

Таблица 2

Степень нарушения устойчивости микробного сообщества почв [4]

Величина Q`r	Степень воздействия
1	Отсутствует
1 – 2	Слабое
2 – 5	Среднее
5 – 10	Сильное
>10	Катастрофическое

Во всех рекультивированных аллювиальных почвах проявлялось воздействие НП на сообщество почвенных микроорганизмов (Q`r опытных образцов во всех выше, чем контрольных). Степень нарушения стабильности микробного пула зависела от остаточного содержания НП, типа почвы, и отличалась существенным образом. *Слабое* влияние НП на микробное сообщество обнаруживалось в Алу, Алу(М) и Абу почвах (рис. 2). Состояние двух последних представляется наиболее благоприятным. В остальных почвах в существующем на момент завершения рекультивации диапазоне остаточных концентраций НП, определена *средняя* степень воздействия на микробный пул. Наибольшее воздействие НП на микрофлору выявлено в Адт(Ч) при концентрации поллютанта выше 4,0 г/кг и в Алс выше 3,0 г/кг. В Адт(М) и Абс почвах по мере увеличения содержания НП наблюдалось постепенное снижение устойчивости микробного сообщества.

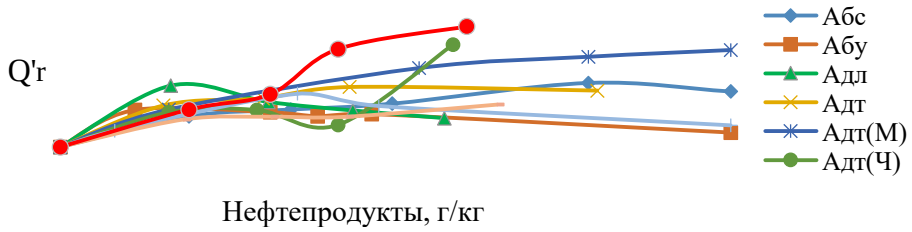


Рис. 2. Воздействие остаточных концентраций НП на коэффициент микробного дыхания рекультивированных аллювиальных почв Q`r (Q`r = Qrзагр. /Qr контр.)

На основании полученных значений Qr и Q`r было рассчитано предельное остаточное содержание НП, при котором проявляется их *слабое* воздействие на микробное сообщество (табл. 3). В экспериментах наибольшую устойчивость к нефтяному загрязнению проявили микробные сообщества Абу и Алу(М) почв. В Адт и Адт(М) почвах естественный ход обменных процессов нарушался при остаточном содержании НП меньше 3,0 г/кг.

Таблица 3

Предельное остаточное содержание (ПОС) НП в почвах, при котором наблюдается их слабое воздействие на микробное сообщество

Тип почвы	Механический состав	Условное обозначение	ПОС НП, г/кг
Аллювиальная болотная	Супесчаная	Абу	9.9
Аллювиальная луговая	Супесчаная	Алу(М)	9,9
Аллювиальная луговая	Супесчаная	Алу	6,5
Аллювиальная дерновая	Легкосуглинистая	Адл	5,7
Аллювиальная луговая	Среднесуглинистая	Алс	5,7
Аллювиальная болотная	Среднесуглинистая	Абс	5,0
Аллювиальная дерновая	Тяжелосуглинистая	Адт(Ч)	4,7
Аллювиальная дерновая	Тяжелосуглинистая	Адт	2,9
Аллювиальная дерновая	Тяжелосуглинистая	Адт(М)	2,7

Проведенное ранжирование аллювиальных почв наглядно показывает, что микробные сообщества легких почв более устойчивы к воздействию НП. Из представленных данных очевидно, что проведение восстановительных мероприятий на аллювиальных луговых почвах потребует большего внимания, чем работы, проводимые на загрязненных аллювиальных болотных и луговых почвах.

Выводы

1. Остаточное содержание НП в испытанном диапазоне концентраций стимулировало интенсивность базального дыхания рекультивированных аллювиальных почв. Субстрат-индуцированное дыхание в большинстве случаев оставалось на уровне контроля, а в некоторых почвах незначительно снижалось.

2. Показатели почвенного дыхания (Vбазал, Qr) свидетельствуют о том, что в рекультивированных аллювиальных почвах на фоне нарушения стабильности сообщества почвенных микроорганизмов продолжается минерализация нефтепродуктов.

3. Микрофлора аллювиальных почв способна преодолевать негативное влияние высоких концентраций нефти. В условиях минимальных рекультивационных мероприятий (увлажнение, рыхление) из 9 изученных почв в 6 выявлена средняя степень воздействия поллютанта на микробный пул; в 3 почвах воздействие определено как слабое.

4. Микробные сообщества легких аллювиальных почв более устойчивы к воздействию нефтепродуктов. Проведение восстановительных мероприятий на аллювиальных луговых почвах потребует большего внимания, чем рекультивационные работы, проводимые на аллювиальных болотных и луговых почвах.

5. Параметры дыхательной активности и сведения о состоянии микробного сообщества в условиях, определенных диапазоном остаточных концентраций НП, могут служить основой для разработки региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почвах (ДОСНП).

Литература

1. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякшина Т.Н. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // Почвоведение.1993. №11. С. 72–77.

2. Ананьева Н.Д., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Сусьян Е.А. Влияние полихлорированных бифенилов на микробную биомассу и дыхание серой лесной почвы // Почвоведение. 2005. №7. С. 871-876.

3. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякшина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // Почвоведение. 1995. №2. С. 205-210.

4. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве // Почвоведение. 1996. №11. С. 1341–1346.

5. Гарусов А.В., Алимова Ф.К., Селивановская С.Ю., Захарова Н.Г., Егоров С.Ю. Газовая хроматография в биологическом мониторинге почвы. Казань: Изд-во КГУ, 2006. 90 с.

6. Гузев В.С., Левин С.В. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях // Почвоведение. 1991. № 9. С. 50–62.

7. Гузев В.С., Левин С.В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной биологии. М: Изд-во МАКС Пресс, 2001. С. 178-219.

8. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015. №1. С. 112-120.

9. Каримуллин Л.К., Петров В.М., Вершинин А.А., Шурмина Н.В. Физиологическая активность почв при разных уровнях нефтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук 2015. Т.17. №4. С. 797-803.

10. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахов А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. Уфа: Гилем, 2001. 376 с.

11. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Ямалетдинова Г.Ф. Диагностические критерии самоочищения почв от нефти // Экология и промышленность России. 2001. №12. С. 34-35.

12. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Галимзянова Н.Ф. Влияние возрастающих концентраций нефти на микромицеты в выщелоченном черноземе // Микология и фитопатология. 2003. Т 3. №2. С. 53–59.

13. Кузнецова Т.В., Петров А.М., Князев И.В., Хабибуллин Р.Э. Состав микробных сообществ при разном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. №14. С. 165-168.

14. Маслов М.Н., Маслова О.А., Ежелев З.С. Микробиологическая трансформация органического вещества в нефтезагрязненных тундровых почвах после рекультивации // Почвоведение. 2019. №1. С. 70–78. https://doi.org/10.1134/S0032180X19010106

15. ПНД Ф 16.1:2222-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии.

16. Петров А.М., Вершинин А.А., Каримуллин Л.К., Акайкин Д.В., Тарасов О.Ю. Динамика эколого-биологических характеристик дерново-подзолистых почв в условиях длительного нефтяного загрязнения // Почвоведение. 2016. №7. С. 848–856. https://doi.org/107868/S0032180x16050130

17. Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г. Содержание и структура микробной массы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706-714.

18. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 2005. 252 с.

19. Усачева Ю.Н. Функциональная активность и численность микроорганизмов в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2013. №3. С.56-59.

20. Усманов И.Ю., Юмагулова Э.Р., Иванов В.Б., Коркина Е.А., Щербаков А.В., Иванов Н.А., Рябуха А.В. Адаптация экосистем Среднего Приобья в зоне нефтедобычи: иерархия и длительность процессов // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2016.№2. С.79-86.

21. Anderson T. H., Domsch K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil biology and biochemistry. 1993. Vol. 25. №3. P. 393-395. https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7

22. Hund K., Schenk B. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes // Chemosphere. 1994. Vol. 28. №3. P. 477-490. https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90292-5

References

1. Anan'eva, N.D., Blagodatskaya, E.V., Orlinskij, D.B., & Myakshina, T.N. (1993). Metodicheskie aspekty opredeleniya skorosti substrat-inducirovannogo dyhaniya pochvennyh mikroorganizmov [Methodological aspects of determining the rate of substrate- induced respiration of soil microorganisms]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (11), 72–77.

2. Anan'eva, N.D., Hakimov, F.I., Deeva, N.F., & Sus'yan, E.A. (2005). Vliyanie polihlorirovannyhbifenilov na mikrobnuyu biomassu I dyhanie seroj lesnoj pochvy [Effect of polychlorinated biphenyls on microbial biomass and respiration of gray forest soil]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (7). 871-876.

3. Blagodatskaya, E.V., Anan'eva, N.D., & Myakshina, T.N. (1995). Harakteristika sostoyaniya mikrobnogo soobshchestva pochvy po velichine metabolicheskogo koefficienta [Characteristics of the state of the soil microbial community by the value of the metabolic coefficient]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (2). 205-210.

4. Blagodatskaya, E.V., & Anan'eva, N.D. (1996). Ocenka ustojchivosti mikrobnyh soobshchestv v processe razlozheniya pollyutantov v pochve [Assessment of the stability of microbial communities in the process of decomposition of pollutants in the soil]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (11). 1341–1346.

5. Garusov, A.V., Alimova, F.K., Selivanovskaya, S.Yu., Zaharova, N.G., & Egorov, S.Yu. (2006). Gazovaya hromatografiya v biologicheskom monitoringe pochvy [Gas chromatography in soil biological monitoring]. Kazan'.

6. Guzev, V.S., & Levin, S.V. (1991). Perspektivy ekologo-mikrobiologicheskoj ekspertizy sostoyaniya pochv pri antropogennyh vozdejstviyah [Prospects for ecological and microbiological examination of soil conditions under anthropogenic influences]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]*, (9). 50–62.

7. Guzev, V.S., & Levin, S.V. (2001). Tekhnogennye izmeneniya soobshchestva pochvennyh mikroorganizmov. In *Perspektivy razvitiya pochvennoj biologii [Technogenic changes in the community of soil microorganisms, Prospects for the development of soil biology]*, Moscow, 178-219.

8. Kazeev, K.Sh., Kozun', Yu.S., & Kolesnikov, S.I. (2015). Ispol'zovanie integral'nogo pokazatelya dlya ocenki prostranstvennoj differenciacii biologicheskih svojstv pochv yuga Rossii v gradiente aridnosti klimata [Using an integral

indicator to assess the spatial differentiation of biological properties of soils in the South of Russia in the climate aridity gradient]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal [Publishing House of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences]*. (1). 112-120.

9. Karimullin, L.K., Petrov, V.M., Vershinin, A.A., & Shurmina, N.V. (2015). Fiziologicheskaya aktivnost' pochv pri raznyh urovnyah neftyanogo zagryazneniya [Physiological activity of soils at different levels of oil pollution]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 17*(4). 797-803.

10. Kireeva, N.A. (2001). Biologicheskaya aktivnost' neftezagryaznennyh pochv [Biological activity of oil-contaminated soils]. Ufa.

11. Kireeva, N.A., Novoselova, E.I., & Yamaletdinova, G.F. (2001). Diagnosticheskie kriterii samoochishcheniya pochv ot nefti [Diagnostic criterion for soil self-purification from oil*]. Ekologiya I promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia],* (12), 34-35.

12. Kireeva, N.A., Bakaeva, M.D., & Galimzyanova, N.F. (2003). Vliyanie vozrastayushchih koncentracij nefti na mikromicety v vyshchelochennom chernozeme [Influence of increasing oil concentrations on micromycetes in leached Chernozem]. *Mikologiya I fitopatologiya [Mycology and Phytopathology], 3*(2). 53–59.

13. Kuznecova, T.V., Petrov, A.M., Knyazev, I.V., & Habibullin, R.E. (2016). Sostav mikrobnyh soobshchestv pri raznom soderzhanii nefteproduktov v seryh lesnyh pochvah [Composition of microbial communities with different content of petroleum products in gray forest soils]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan technological university], 19*(14). 165-168.

14. Maslov, M.N., Maslova, O.A., & Ezhelev, Z.S. (2019). Mikrobiologicheskaya transformaciya organicheskogo veshchestva v neftezagryaznennyh tundrovyh pochvah posle rekul'tivacii [Microbiological transformation of organic matter in oil-contaminated tundra soils after reclamation]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science],* (1). 70–78. https://doi.org/10.1134/S0032180X19010106

15. PND F 16.1:2.2.22-98. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj doli nefteproduktov v mineral'nyh, organo-mineral'nyh pochvah I donnyh otlozheniyah metodom IK-spektrometrii [Method for measuring the mass fraction of petroleum products in mineral, organo-mineral soils and bottom sediments by IR spectrometry].

16. Petrov, A.M., Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Akajkin, D.V., & Tarasov, O.Yu. (2016). Dinamika ekologo-biologicheskih harakteristik dernovo-podzolistyh pochv v usloviyah dlitel'nogo neftyanogo zagryazneniya [Dynamics of ecological and biological characteristics of sod-podzolic soils under conditions of long-term oil pollution]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science],* (7). 848–856. https://doi.org/107868/S0032180x16050130

17. Polyanskaya, L.M., & Zvyagincev, D.G. (2005). Soderzhanie I struktura mikrobnoj massy kak pokazatel' ekologicheskogo sostoyaniya pochv [Content and structure of microbial mass as an indicator of the ecological state of soils]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Science],* (6). 706-714.

18. Haziev, F.H. (2005). Metody pochvennoj enzimologii [Methods of soil Enzymology]. Moscow.

19. Usacheva, Yu.N. (2013). Funkcional'naya aktivnost' I chislennost' mikroorganizmov v usloviyah neftyanogo zagryazneniya [Functional activity and number of microorganisms in conditions of oil pollution]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin Of Nizhnevartovsk State University],* (3), 56-59.

20. Usmanov, I.Yu., Yumagulova, E.R., Ivanov, V.B., Korkina, E.A., Shcherbakov, A.V., Ivanov, N.A., & Ryabuha, A.V. (2016). Adaptaciya ekosistem Srednego Priob'ya v zone neftedobychi: ierarhiya I dlitel'nost' processov [Adaptation of middle Ob river ecosystems in the oil production zone: hierarchy and duration of processes]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Nizhnevartovsk State University],* (2).79-86.

21. Anderson, T. H., & Domsch, A. K. (1993). The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil biology and biochemistry*, *25*(3), 393-395. https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7

22. Hund, K., & Schenk, B. (1994). The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes. *Chemosphere*, *28*(3), 477-490. https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90292-5

Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Князев И.В., Кузнецова Т.В. Физиологическая активность рекультивированных аллювиальных почв при разном остаточном содержании нефтепродуктов // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 112-118. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/15

Vershinin, A.A., Petrov, A.M., Karimullin, L.K., Knyazev, I.V. & Kuznetsova, T.V. (2021). Physiological Activity of Recultivated Alluvial Soils with Different Residual Content of Oil Products. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 112-118. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/15

дата поступления: 29.06.2020 дата принятия: 08.09.2020

УДК 504.3.064.3. 87.17.91
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/16

Пожитков Р.Ю.

РАЗОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ $PM_{2,5}$ И PM_{10} В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ г. ТОБОЛЬСК

Pozhitkov R.Yu.

SINGLE CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER $PM_{2,5}$ AND PM_{10} IN THE LOWER LAYERS OF THE ATMOSPHEREOF TOBOLSK

Аннотация. Целью работы является определение разовых концентраций взвешенных частиц в приземных слоях атмосферы г. Тобольск. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определить количество $PM_{2,5}$ и PM_{10} в различных функциональных зонах города; создать схемы количественного распределения взвешенных частиц по территории города; локализовать участки с повышенным уровнем загрязнения для проведения в них дальнейшего мониторинга; проанализировать влияние некоторых метеорологических показателей (температура и влажность воздуха) на содержание взвешенных частиц. Измерения выполнялись по неоднократно апробированной методике с помощью прибора “AIR TESTER CW-HAT 200”. Установлено, что в приземном воздушном слое г. Тобольск содержание $PM_{2,5}$ и PM_{10} невелико, средние геометрические значения составляют 5 и 7 мкг/м^3 соответственно, что значительно ниже установленных максимальных разовых концентраций по этому показателю. Наименьшие значения выявлены в зоне промышленного и коммунально-складского назначения, наибольшие – вблизи зоны автотрассы и в центре города, это позволяет утверждать, что основным источником поступления $PM_{2,5}$ и PM_{10} является автотранспорт. Локализованы два участка с повышенным уровнем загрязнения взвешенными частицами. Не выявлено значимых корреляционных связей между концентрациями $PM_{2,5}$ и PM_{10} и показателями температуры и влажности воздуха.

Ключевые слова: взвешенные частицы, $PM_{2,5}$, PM_{10}, пылевое загрязнение, атмосфера, экологический мониторинг, Тобольск.

Сведения об авторе: Пожитков Роман Юрьевич, ORCID: 0000-0002-7957-1337, Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия, pozhitkov-roma@yandex.ru.

Abstract. The aim of the work is to determine the single concentrations of particulate matter in the lower layers of the atmosphere of Tobolsk. To achieve this goal, the following tasks were set: to determine the amount of $PM_{2,5}$ and PM_{10} in various functional zones of the city; to create schemes for the quantitative distribution of suspended particles throughout the city; to localize areas with high levels of pollution for further monitoring; to analyze the influence of certain meteorological indicators (temperature and humidity air) on the content of suspended particles. The measurements were performed according to the repeatedly tested method using the “AIR TESTER CW-HAT 200” device. It is established that in the lowers air layers of Tobolsk the content of $PM_{2,5}$ and PM_{10} is low, the average geometric values are 5 and 7 ug/m^3, respectively, which is significantly lower than the established maximum single concentrations for this indicator. The lowest values were found in the industrial and utility and storage zones, the highest values were found near the highway zone and in the city center, which suggests that the main source of PM2. 5 and PM10 is vehicles. Two sites with an increased level of pollution by suspended particles were localized. There were no significant correlations between $PM_{2,5}$ and PM_{10} concentrations and air temperature and humidity.

Keywords: particulate matter, $PM_{2,5}$, PM_{10}, dust pollution, atmosphere, environmental monitoring, Tobolsk.

About the author: Pozhitkov Roman Yur’evich, ORCID: 0000-0002-7957-1337, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia, pozhitkov-roma@yandex.ru.

Введение. Наблюдения за экологическим состоянием и качеством воздушного пространства в условиях города являются важной и актуальной научной задачей, а проведение государственного мониторинга атмосферного воздуха необходимо [13]. Городские территории отличаются высокими темпами урбанизации, значительным числом промышленных объектов, большими количествами эксплуатируемых единиц автотранспорта. Все это в совокупности оказывает серьезное влияние на экологическую обстановку, вызывает рост ряда проблем, в их числе загрязнение атмосферы различными соединениями и взвешенными частицами (от англ. particulate matter (PM) – «взвешенные частицы»). Под понятиями PM_{10} и $PM_{2,5}$ следует считать частицы пыли с аэродинамическим диаметром менее 10 и 2,5 микрометров соответственно [11; 19]. Данные частицы представляют наибольшую опасность для здоровья населения, Всемирной организацией здравоохранения было установлено, что при их попадании в живые организмы значительно ухудшается состояние легочно-дыхательной, сердечно-сосудистой, нервной и других систем, а при долговременном воздействии отмечается преждевременная смертность [4]. Этим и объясняется возросшее количество работ по данной тематике в последние годы как отечественных, так и зарубежных исследователей. Исследовано содержание $PM_{2,5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе с территории жилых зон [2; 10]; представлены классификация,

источники поступления и методы мониторинга указанных частиц [14]. Содержание PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе является актуальным объектом изучения [1; 5]. Процесс изучения взвешенных частиц (PM) привлекает интерес и зарубежных исследователей. K.J. Maji, A.K. Dikshit, A. Deshpande, оценили влияние PM_{10} и $PM_{2,5}$ на здоровье населения [23]. Другие актуальные исследования последних лет представлены в работах ряда ученых [15, 18; 24; 26].

Тобольск – промышленный город на севере Тюменской области с численностью населения немногим более ста тысяч человек. Неоднократно проводились исследования по оценке экологического состояния различных природных сред города и окрестностей, среди которых стоит отметить [9; 12], но в данных работах основными изучаемыми объектами являются почвы и снежный покров. Наблюдения за качеством и составом атмосферного воздуха практически не проводились, а с учетом того, что в Тобольске функционирует один из крупнейших в стране нефтехимических комбинатов, данные наблюдения имеют высокую степень актуальности. Исходя из вышесказанного целью данной работы является определение разовых концентраций взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в приземных слоях атмосферы различных функциональных зон г. Тобольска.

Материалы и методы исследования. Измерения разовых концентраций $PM_{2,5}$ и PM_{10} были выполнены 23 июня 2020 г. на территории г. Тобольск в 25 точках в различных функциональных зонах с помощью портативного счетчика взвешенных частиц “AIR TESTER CW-HAT 200”.

Для того, чтобы спроецировать возможный перенос частиц пыли в органы дыхания населения, все замеры осуществлялись на высоте 170 см от поверхности земли. Для исключения случайных данных измерения проводились в трехкратной повторности, за контрольное значение принималось среднее геометрическое (поскольку распределение числовых значений взвешенных частиц не соответствовало нормальному закону распределения, в качестве средних значений было решено использовать среднее геометрическое из этих трех).

Применяемая методика определения $PM_{2,5}$ и PM_{10} с помощью указанного прибора хорошо зарекомендовала себя в ряде работ [21-22; 30]. Суть ее заключается в регистрации оптического излучения. Встроенный в прибор лазерный диод проецирует оптический луч, который при попадании в измерительную камеру рассеивается аэрозольными частицами, пересекающими луч. В результате полученное рассеянное излучение фиксируется фотоприемником. Величина рассеянного излучения прямо пропорциональна массовой концентрации частиц.

Схемы, представленные в работе, были построены с использованием программного обеспечения “ArcGIS 10.6.1”, в котором с помощью инструментов интерполяции растра (интерполяции методом обратно взвешенных расстояний) выполнены схемы количественного распределения частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в приземных слоях атмосферы г. Тобольск.

Статистическая обработка полученных результатов была выполнена с использованием программы Microsoft Office Excel. Определена зависимость количества взвешенных частиц от температуры и влажности воздуха в период выполнения измерений путем подсчета коэффициентов матрицы корреляции.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 1 представлена схема функциональных зон г.Тобольск с нанесенными на нее точками выполненных измерений (http://www.admtobolsk.ru/tob_grad/gen_plan/).

По результатам измерения разовых концентраций взвешенных частиц установлено, что приземные слои атмосферы г. Тобольск не подвергаются серьезной аэротехногенной нагрузке. Диапазоны варьирования невелики, среднее геометрическое для $PM_{2,5}$ составляет 5 мкгм^3 (диапазон варьирования – 2–13 мкг/м^3); для PM_{10} – 7 мкг/м^3 (диапазон варьирования – 3–19 мкг/м^3), что значительно меньше значений $ПДК_{м.р.}$ (максимальная разовая предельно допустимая концентрация), указанных в [11], которые равняются 300 и 160 мкг/м^3 для PM_{10} и $PM_{2,5}$ соответственно. Выявленные невысокие значения позволяют говорить о том, что в целом в городе наблюдается благоприятная аэрогенная обстановка. Но важно отметить, что наблюдения данной работы являются разовыми, их основная цель – установить территории с наиболее загрязненными приземными слоями атмосферы для проведения в них дальнейшего долгосрочного мониторинга. Важно также отметить, что одной из возможных причин выявленных низких концентраций $PM_{2,5}$ и PM_{10} является тот факт, что измерения, представленные в данном исследовании, были произведены летом. Для содержания взвешенных частиц в воздухе характерна сезонная изменчивость из-за особенностей циркуляции атмосферы, так максимальные концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} обычно фиксируются в зимний период, а минимальные – в летний.

Как известно, наибольшую опасность представляют частицы $PM_{2,5}$ [4; 14]. Так как в отечественной литературе мало представлены материалы по содержанию данного загрязнителя в атмосфере сопредельных городов, для оценки (в геоэкологии, одним из методических приемов оценки

загрязнения является сравнение собственных данных с литературными) загрязнения было решено сравнить данные, полученные в результате исследования с данными за летний период по некоторым городам мира. Результат данного сравнения приведен в таблице 1.

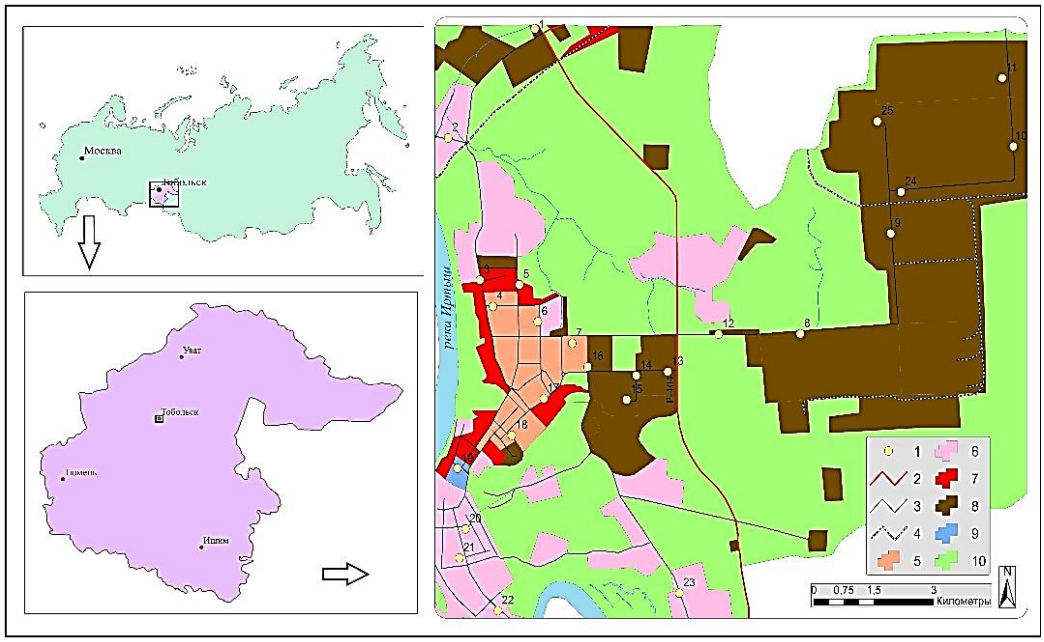


Рис. 1. Схема точек измерений и функциональных зон г. Тобольск: 1 – точки измерений; 2 – автотрасса Тюмень-Сургут; 3 – дороги внутригородского назначения; 4 – железная дорога; 5 – зона многоэтажной застройки; 6 – зона малоэтажной застройки; 7 – общественно-деловая зона; 8 – зона промышленного и коммунально-складского назначения; 9 – зона историко-культурного центра; 10 – зона зеленых насаждений, городских лесов и рекреации

Таблица 1

Концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ в летний период в некоторых города мира, мкг/м

Страна, город	$PM_{2,5}$
Россия, Тобольск [данные автора]	5
Россия, Тюмень [8]	13
США* [16]	16,2
Китай, Пекин [29]	85,8
Бразилия* [17]	15,2
Япония, Иокогама [20]	20,8
Финляндия, Хельсинки [27]	12,1
Украина** [6]	23
Греция, Афинны [28]	25,3
Польша, Забже [25]	18,4

Примечание: * – исследование проводилось в нескольких городах; ** – город исследования не указан.

Выполненное сравнение подтверждает достоверность полученных нами данных. Несмотря на то, что полученные значения несколько ниже, чем для остальных городов, результаты все же хорошо сопоставимы между собой. Важно отметить, что в указанных исследованиях измерения проводились в крупных городах и мегаполисах, именно поэтому содержания $PM_{2,5}$ незначительно превышают наши данные. Исключением являются результаты исследования [29], где отмечена существенная разница с измерениями, представленными в нашей работе, но это легко объяснить тем, что загрязнение атмосферного воздуха является одной из главных экологических проблем современного Китая, так что завышенные концентрации взвешенных частиц для приземных слоев атмосферы китайских городов следует считать характерной особенностью страны.

Одной из задач работы было установить, какая из обследованных функциональных зон города является наиболее загрязненной взвешенными частицами, для этого измерения выполнялись в следующих зонах города согласно [7]: многоэтажной застройки, малоэтажной застройки,

общественно-деловой, зоне промышленного и коммунально-складского назначения, зоне историко-культурного центра города, зоне автотрассы.

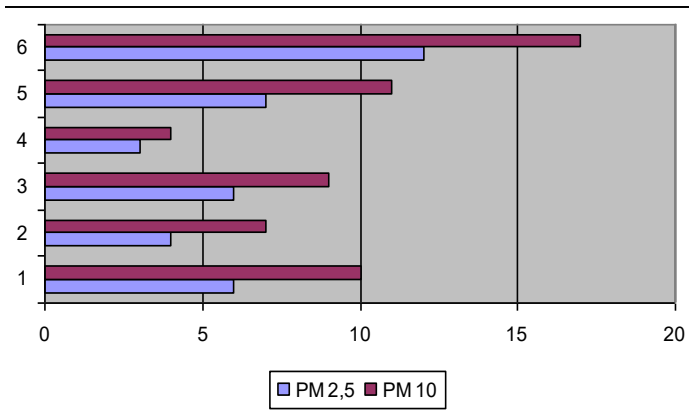
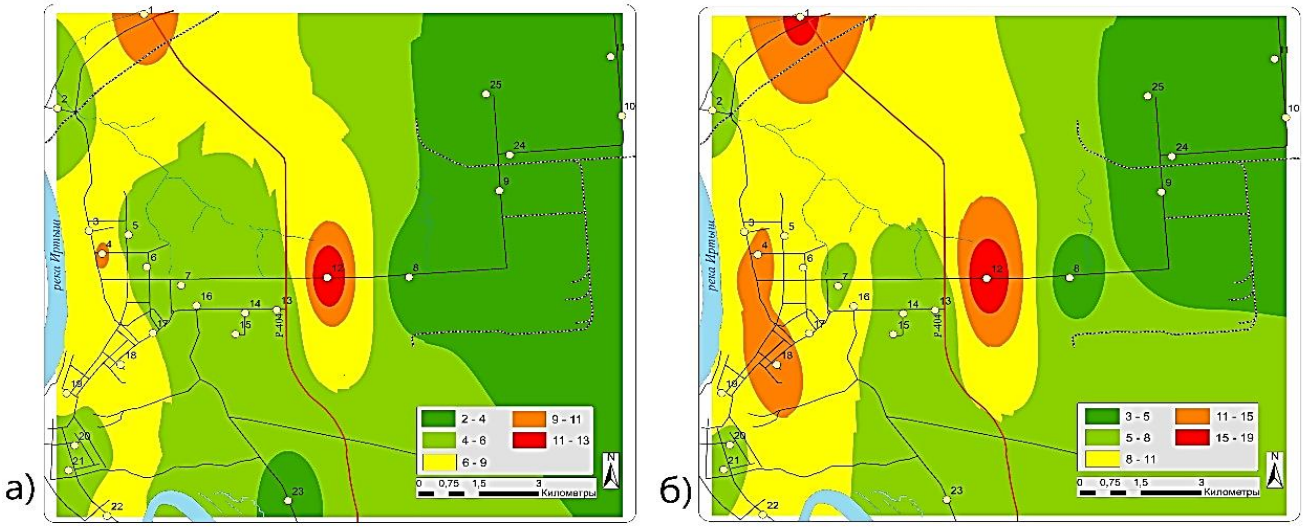


Рис. 2. Средние геометрические значения $PM_{2,5}$ и PM_{10} в различных функциональных зонах г. Тобольск: функциональные зоны (ось ординат): 1 – многоэтажной застройки; 2 – малоэтажной застройки; 3 – общественно-деловая; 4 – промышленного и коммунально-складского назначения; 5 – историко-культурного центра; 6 – автотрассы

Разделение точек измерений по функциональным зонам города позволило установить, что наибольший вклад в загрязнение приземных слоев атмосферы вносит автотранспорт. Измерения, выполненные вблизи автотрассы Р-404 (Тюмень – Сургут) показали наиболее высокие значения (среднее геометрическое составляет 12 мкг/м^3 и 17 мкг/м^3 для $PM_{2,5}$ и PM_{10} соответственно), но данные значения также не превышают значений $ПДК_{м.р}$. Что касается распределения взвешенных частиц по остальным функциональным зонам города, то они практически идентичны для зон многоэтажной и малоэтажной застроек, общественно-деловой, зоны историко-культурного центра. Важно отметить, что наименьшие значения были выявлены в промышленной зоне. Ранее отмечалось, что содержание взвешенных частиц в талых снеговых водах с территории промзоны Тобольска практически идентично с фоновым содержанием (отмечены единичные превышения), отсутствует прямая связь между преимущественными направлениями распространения выбросов от промышленных источников и местоположением наиболее загрязненных участков [12].

Для того, чтобы визуально отобразить характер загрязнения взвешенными частицами города и идентифицировать локальные участки с повышенными значениями, были построены схемы распределения содержания $PM_{2,5}$ и PM_{10} по территории города. Результат приведен на рисунке 3.



Примечание: цветом отображаются диапазоны концентраций $PM_{2,5}$ и PM_{10}, в ug/m^3

Рис. 3. Схема распределения содержания взвешенных частиц в приземных слоях атмосферы г. Тобольск: а) – PM2,5; б) – PM10

Распределения взвешенных частиц разного аэродинамического диаметра весьма схожи. Выполненная работа позволила установить два очага повышенных значений, их локализация (точки № 1, 12) подтверждает тезис о том, что наибольшую негативную нагрузку на качество воздуха в приземных слоях атмосферы города оказывает именно автотранспорт ввиду того, что данные очаги

пространственно привязаны к зоне автотрассы. Отмечается также отдельный участок повышенных значений для PM_{10}, локализованный в центре города. Ввиду того, что, согласно функциональному зонированию города, данный участок не относится к зоне промышленного назначения, можно говорить о том, что источником более высоких концентраций PM_{10} также выступает автотранспорт. В работе [8] для города Тюмени выявленный участок с завышенными количествами взвешенных частиц, также пространственно расположен в центре города. В ходе исследования, вопреки ожиданиям, установлено, что функциональная зона промышленного и коммунально-складского назначения оказалась наиболее незагрязненной. В результате можно говорить о том, что крупные промышленные предприятия г. Тобольск не выступают основным источником аэротехногенного загрязнения и не оказывают значительного негативного влияния на состав и качество атмосферного воздуха на территории города.

Параллельно с основными измерениями определялись показатели относительной влажности и температуры воздуха. Для того, чтобы определить влияние этих показателей на концентрацию взвешенных частиц, была составлена матрица корреляции между этими параметрами (табл. 2).

Таблица 2

Матрица корреляции между содержанием взвешенных частиц и некоторыми метеорологическими параметрами

	$PM_{2,5}$	PM_{10}	t ° C	RH, %
$PM_{2,5}$	1			
PM_{10}	**0,932**	1		
t °C	0,084	-0,096	1	
RH, %	-0,14	0,053	**-0,888**	1

Примечание: жирным цветом выделены значения, достоверные при доверительной вероятности $p<0,05$

Не выявлены существенные корреляционные связи между содержанием $PM_{2,5}$ и PM_{10} и такими метеорологическими показателями, как температура и влажность воздуха. Аналогичные выводы были получены в исследовании [8] для города Тюмень, а также в работе [22]. Следовательно, можно говорить о том, что количество взвешенных частиц в воздухе не зависит от указанных показателей, а оказывающими существенное влияние на число $PM_{2,5}$ и PM_{10} будут являться другие метеорологические факторы.

Выводы. По результатам измерений, выполненных 23 июня 2020 г., установлено, что средние геометрические значения $PM_{2,5}$ и PM_{10} значительно меньше $ПДК_{м.р.}$, что позволяет говорить об умеренном аэротехногенном загрязнении приземных слоев атмосферы г. Тобольск. Полученные данные о содержании $PM_{2,5}$ хорошо сопоставимы с результатами аналогичных работ других исследователей в различных городах мира. Определены два участка повышенного загрязнения для проведения дальнейшего долгосрочного мониторинга, установлены причины их локализации. Наиболее подверженной загрязнению взвешенными частицами является функциональная зона вблизи автотрассы, наименьшие обнаруженные значения $PM_{2,5}$ и PM_{10} отмечены в зонах промышленного и коммунально-складского назначения. Как итог, несмотря на наличие в городе крупных промышленных объектов, основным источником атмосферного загрязнения выступает автотраспорт. В работе не выявлено значимых корреляционных связей между содержанием $PM_{2,5}$ и PM_{10} и такими метеорологическими факторами, как температура и относительная влажность воздуха, аналогичные выводы были получены ранее для г. Тюмень, в котором основным источником взвешенных частиц также является автотранспорт. Следовательно, процесс загрязнения приземных слоев атмосферы крупных городов юга Тюменской области идет по одной специфике, где наименьшую роль играют выбросы от предприятий, наибольшую – выбросы от передвижных источников.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-50062\19).

Литература

1. Азаров В.Н., Калюжина Е.А. Об организации мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ на примере г. Волгограда // Вестн. Волгоград. гос. архитектурно-строительного ун-та. Сер. Строительство и архитектура. 2011. № 25(44). С. 398–401.

2. Боровлев А.Э. Исследования содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе жилой зоны Белгорода // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 97. С. 97–103. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103

3. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2015. № 1. С. 23–33.

4. Всемирная организация здравоохранения, Европейское региональное бюро. Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAAP. https://clck.ru/VQuJ8

5. Заворуева Е.Н., Заворуев В.В., Печенкин Ф.А. Концентрация взвешенных частиц в приземном слое атмосферы города Красноярска в 2013–2016 годах // Путь науки. 2017. №4(38). С. 13–15.

6. Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в районе функционирования угольной ТЭС // Здоровье и окружающая среда. 2016. Вып. 26. С. 39–42.

7. Официальный сайт администрации города Тобольска. http://www.admtobolsk.ru/tob_grad/gen_plan/

8. Пожитков Р.Ю. Содержание взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в приземном слое атмосферы г. Тюмени в июне 2020 г. // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. №12(383). С. 913–917. DOI: 10.15372/AOO20201202

9. Попова Е.И. Определение фитотоксичности почв города Тобольска методом биотестирования // Современные проблемы науки и образования. 2016. №4. С. 216.

10. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Оценка содержания твердых частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе на территории жилой застройки в зоне влияния выбросов // Здоровье и окружающая среда. 2017. Вып. 27. С. 51–54.

11. РД 52.04.830-2015. Массовая концентрация взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. СПб. ГГО им. А.И. Воейкова, 2015. 41 с.

12. Факащук Н.Ю., Соромотин А.В. Оценка состояния снежного покрова и почв Тобольской промзоны // Вестник Тюменского государственного университета // Экология и природопользование. 2017. Т. 3. №2. С. 22–33. https://doi.org/10.21684/2411-7927-2017-3-2-22-33

13. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (с исправлениями и дополнениями). М., 1999.

14. Шубабко Е.Н., Шубабко О.Э., Дорохов А.М. Влияние взвешенных частиц (пыли фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$) на здоровье и жизнь людей // Россия и славянские народы в XIX-XXI вв. сборник статей: Материалы международной научной конференции. Брянск, 2020. С. 370–379.

15. Bae H. J. Effects of Short-term Exposure to PM 10 and PM 2.5 on Mortality in Seoul //Journal of Environmental Health Sciences. 2014. Vol. 40. №5. P. 346-354. https://doi.org/10.5668/JEHS.2014.40.5.346

16. Bell M. L., Dominici F., Ebisu K., Zeger S. L., Samet J. M. Spatial and temporal variation in PM2. 5 chemical composition in the United States for health effects studies // Environmental health perspectives. 2007. Vol. 115. №7. P. 989-995. https://doi.org/10.1289/ehp.9621

17. de Miranda R. M. et al. Urban air pollution: a representative survey of PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities // Air Quality, Atmosphere & Health. 2012. Vol. 5. №1. P. 63-77. https://doi.org/10.1007/s11869-010-0124-1

18. Janssen N. A. H., Fischer P., Marra M., Ameling C., Cassee F. R. Short-term effects of PM2. 5, PM10 and PM2. 5–10 on daily mortality in the Netherlands // Science of the Total Environment. 2013. Vol. 463. P. 20-26. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.062

19. Janssen N. A., Hoek G., Simic-Lawson M., et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2. 5 //Environmental health perspectives. 2011. Vol. 119. №12. P. 1691-1699. https://doi.org/10.1289/ehp.1003369

20. Khan M. F., Shirasuna Y., Hirano K., Masunaga S. Characterization of PM2. 5, PM2. 5–10 and PM> 10 in ambient air, Yokohama, Japan // Atmospheric Research. 2010. Vol. 96. №1. P. 159-172. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.12.009

21. Li X., Zhang H., Jing J., Huang D. Surface modification of a low-density ceramic for gas–solid separation // Surface and Coatings Technology. 2015. Vol. 262. P. 103-110. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.12.020

22. Liu J., Man Y., Liu Y. Temporal variability of PM 10 and PM 2.5 inside and outside a residential home during 2014 Chinese Spring Festival in Zhengzhou, China // Natural Hazards. 2014. Vol. 73. №3. P. 2149-2154. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1157-9

23. Lu F., Xu D., Cheng Y., Dong S., Guo C., Jiang X., Zheng X. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2. 5 and PM10 pollution in the Chinese population // Environmental research. 2015. Vol. 136. P. 196-204. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029

24. Maji K. J., Dikshit A. K., Deshpande A. Disability-adjusted life years and economic cost assessment of the health effects related to PM 2.5 and PM 10 pollution in Mumbai and Delhi, in India from 1991 to 2015 // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24. №5. P. 4709-4730. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8164-1

25. Rogula-Kozłowska W., Klejnowski K., Rogula-Kopiec P., Mathews B., Szopa S. A study on the seasonal mass closure of ambient fine and coarse dusts in Zabrze, Poland // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2012. Vol. 88. №5. P. 722-729. https://doi.org/10.1007/s00128-012-0533-y

26. Sicard P., Khaniabadi Y. O., Perez S., Gualtieri M., De Marco A. Effect of O 3, PM 10 and PM 2.5 on cardiovascular and respiratory diseases in cities of France, Iran and Italy // Environmental science and pollution research. 2019. Vol. 26. №31. P. 32645-32665. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06445-8

27. Sillanpää M., Hillamol R., Kerminen V. M., Pakkanen T., Salonen R. Chemical composition and mass balance of an urban aerosol during various seasons // Journal of aerosol science. 2000. Vol. 31. P. S309-S310. https://doi.org/10.1016/S0021-8502(00)90319-7

28. Silanpää M., Hillamo R., Saarikoski S., Frey A., Pennanen A., Makkonen U., Spolnik Z., van Grieken R., Braniš M., Brunekreef B., Chalbot M-C., Kuhlbusch T., Sunyer J., Kerminen V. M., Kultala M., Salonen R. O. Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe // Atmospheric Environment. 2006. Vol. 40. P. 212–223. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.063

29. Zhao X., Zhang X., Xu X., Xu J., Meng W., Pu W. Seasonal and diurnal variations of ambient $PM_{2,5}$ concentration in urban and rural environments in Beijing // Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43, №18. P. 2893–2900. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.009

30. Zhu X., Lei L., Wang X., Zhang Y. Air quality and passenger comfort in an air-conditioned bus micro-environment // Environ. Monit. Assess. 2018. Vol. 190, №5. P. 276. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6593-7

References

1. Azarov, V.N., & Kalyuzhina, E.A. (2011). Ob organizatsii monitoringa RM10 I RM2,5 na primere g. Volgograda. *Vestn. Volgograd. gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta. Ser. Stroitel'stvo I arkhitektura,* (25(44)), 398–401. (in Russ.).

2. Borovlev, A.E. (2020). Issledovaniya soderzhaniya melkodispersnykh chastits v atmosfernom vozdukhe zhiloi zo-ny Belgoroda. *Regional'nye geosistemy, 44*(97). 97–103. (in Russ.). https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103

3. Vlasov, D.V., Kasimov, N.S., & Kosheleva, N.E. (2015). Geokhimiya dorozhnoi pyli (Vostochnyi okrug Moskvy). *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografiya,* (1). 23–33. (in Russ.).

4. Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya, Evropeiskoe regional'noe byuro. Obzor dannykh o vozdei-stvii zagryazneniya vozdukha na zdorov'e – proekt REVIHAAP. https://clck.ru/VQuJ8

5. Zavorueva, E.N., Zavoruev, V.V., & Pechenkin, F.A. (2017). Kontsentratsiya vzveshennykh chastits v prizemnom sloe at-mosfery goroda Krasnoyarska v 2013–2016 godakh. *Put' nauki,* (4(38)). 13–15. (in Russ.).

6. Maremukha, T.P., & Petrosyan, A.A. (2016). Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha fraktsiyami melkodispersnoi pyli (RM10 I RM2,5) v raione funktsionirovaniya ugol'noi TES. Zdorov'e I okruzhayushchaya sreda, 26, 39–42. (in Russ.).

7. Ofitsial'nyi sait administratsii goroda Tobol'ska. http://www.admtobolsk.ru/tob_grad/gen_plan/

8. Pozhitkov, R.Yu. (2020). Soderzhanie vzveshennykh chastits RM2,5 I RM10 v prizemnom sloe atmosfery g. Tyumeni v iyune 2020 g. *Optika atmosfery I okeana, 33*(12(383)). 913–917. (in Russ.). https://doi.org/10.15372/AOO20201202

9. Popova, E.I. (2016). Opredelenie fitotoksichnosti pochv goroda Tobol'ska metodom biotestirovaniya. *So-vremennye problemy nauki I obrazovaniya,* (4). 216. (in Russ.).

10. Prosviryakova, I.A., & Shevchuk, L.M. (2017). Otsenka soderzhaniya tverdykh chastits RM10 I RM2,5 v atmosfernom voz-dukhe na territorii zhiloi zastroiki v zone vliyaniya vybrosov. *Zdorov'e I okruzhayushchaya sreda,* 27, 51–54. (in Russ.).

11. RD 52.04.830-2015. Massovaya kontsentratsiya vzveshennykh chastits RM10 I RM2,5 v atmosfernom vozdukhe. Metodika izmerenii gravimetricheskim metodom (2015). St. Petersburg. (in Russ.).

12. Fakashchuk, N.Yu., & Soromotin, A.V. (2017). Otsenka sostoyaniya snezhnogo pokrova I pochv Tobol'skoi promzony. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya I prirodopol'zovanie, 3*(2). 22–33. (in Russ.). https://doi.org/10.21684/2411-7927-2017-3-2-22-33

13. Federal'nyi zakon ot 4 maya 1999 g. №96-FZ "Ob okhrane atmosfernogo vozdukha" (s ispravleniyami I dopolneniyami) (1999). Moscow. (in Russ.).

14. Shubabko, E.N., Shubabko, O.E., & Dorokhov, A.M. (2020). Vliyanie vzveshennykh chastits (pyli fraktsii RM10 I RM2,5) na zdorov'e I zhizn' lyudei. In *Rossiya I slavyanskie narody v XIX-XXI vv. sbornik statei: Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii,* Bryansk, 370–379. (in Russ.).

15. Bae, H. J. (2014). Effects of Short-term Exposure to PM 10 and PM 2.5 on Mortality in Seoul. *Journal of Environmental Health Sciences, 40*(5), 346-354. https://doi.org/10.5668/JEHS.2014.40.5.346

16. Bell, M. L., Dominici, F., Ebisu, K., Zeger, S. L., & Samet, J. M. (2007). Spatial and temporal variation in PM2. 5 chemical composition in the United States for health effects studies. *Environmental health perspectives, 115*(7), 989-995. https://doi.org/10.1289/ehp.9621

17. De Miranda, R. M., de Fatima Andrade, M., Fornaro, A., Astolfo, R., de Andre, P. A., & Saldiva, P. (2012). Urban air pollution: a representative survey of PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health, 5*(1), 63-77. https://doi.org/10.1007/s11869-010-0124-1

18. Janssen, N. A. H., Fischer, P., Marra, M., Ameling, C., & Cassee, F. R. (2013). Short-term effects of PM2. 5, PM10 and PM2. 5–10 on daily mortality in the Netherlands. *Science of the Total Environment, 463*, 20-26. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.062

19. Janssen, N. A., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., Van Bree, L., Ten Brink, H., ... & Cassee, F. R. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2. 5. *Environmental health perspectives, 119*(12), 1691-1699. https://doi.org/10.1289/ehp.1003369

20. Khan, M. F., Shirasuna, Y., Hirano, K., & Masunaga, S. (2010). Characterization of PM2. 5, PM2. 5–10 and PM> 10 in ambient air, Yokohama, Japan. *Atmospheric Research, 96*(1), 159-172. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.12.009

21. Li, X., Zhang, H., Jing, J., & Huang, D. (2015). Surface modification of a low-density ceramic for gas–solid separation. *Surface and Coatings Technology*, *262*, 103-110. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.12.020

22. Liu, J., Man, Y., & Liu, Y. (2014). Temporal variability of PM 10 and PM 2.5 inside and outside a residential home during 2014 Chinese Spring Festival in Zhengzhou, China. *Natural Hazards*, *73*(3), 2149-2154. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1157-9

23. Lu, F., Xu, D., Cheng, Y., Dong, S., Guo, C., Jiang, X., & Zheng, X. (2015). Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2. 5 and PM10 pollution in the Chinese population. *Environmental research*, *136*, 196-204. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029

24. Maji, K. J., Dikshit, A. K., & Deshpande, A. (2017). Disability-adjusted life years and economic cost assessment of the health effects related to PM 2.5 and PM 10 pollution in Mumbai and Delhi, in India from 1991 to 2015. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(5), 4709-4730. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8164-1

25. Rogula-Kozłowska, W., Klejnowski, K., Rogula-Kopiec, P., Mathews, B., & Szopa, S. (2012). A study on the seasonal mass closure of ambient fine and coarse dusts in Zabrze, Poland. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *88*(5), 722-729. https://doi.org/10.1007/s00128-012-0533-y

26. Sicard, P., Khaniabadi, Y. O., Perez, S., Gualtieri, M., & De Marco, A. (2019). Effect of O 3, PM 10 and PM 2.5 on cardiovascular and respiratory diseases in cities of France, Iran and Italy. *Environmental science and pollution research*, *26*(31), 32645-32665. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06445-8

27. Sillanpää, M., Hillamol, R., Kerminen, V. M., Pakkanen, T., & Salonen, R. (2000). Chemical composition and mass balance of an urban aerosol during various seasons. *Journal of aerosol science*, *31*, S309-S310. https://doi.org/10.1016/S0021-8502(00)90319-7

28. Silanpää, M., Hillamo, R., Saarikoski, S., Frey, A., Pennanen, A., Makkonen, U., Spolnik, Z., van Grieken, R., Braniš, M., Brunekreef, B., Chalbot, M-C., Kuhlbusch, T., Sunyer, J., Kerminen, V. M., Kultala, M., Salonen, R. O. (2006). Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe. *Atmospheric Environment*, (40), 212-223. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.063

29. Zhao, X., Zhang, X., Xu, X., Xu, J., Meng, W., Pu, W. (2009). Seasonal and diurnal variations of ambient $PM_{2,5}$ concentration in urban and rural environments in Beijing. *Atmospheric Environment*, 43(18), 2893-2900. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.009

30. Zhu, X., Lei, L., Wang, X., Zhang, Y. (2018). Air quality and passenger comfort in an air-conditioned bus microenvironment. *Environ. Monit. Assess*, 190(5), 276. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6593-7

Пожитков Р.Ю. Разовые концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в приземных слоях атмосферы г. Тобольск // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 119-126. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/16

Pozhitkov, R.Yu. (2021). Single Concentrations of Particulate Matter $PM_{2,5}$ and PM_{10} in the Lower Layers of the Atmosphereof Tobolsk. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. (2(54)). 119-126. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/16

дата поступления: 12.01.2021

дата принятия: 08.04.2021

УДК 57.044
https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/17

Акатьева Т.Г.

ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *PHLEUM PRATENSE, FESTUCA PRATENSIS, PHALARIS CANARIENSIS*

Akateva T.G.

THE INFLUENCE OF OIL POLLUTION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF *PHLEUM PRATENSE, FESTUCA PRATENSIS, PHALARIS CANARIENSIS*

Аннотация. *Цель исследования:* изучить влияние нефтяного загрязнения на морфологические показатели злаковых трав: канареечника, тимофеевки луговой и овсяницы луговой. *Задачи:* оценка влияния нефтяного загрязнения почв на всхожесть семян, рост и развитие исследуемых видов по морфологическим показателям; анализ видовой изменчивости изученных показателей. В качестве субстрата использован нефтезагрязненный верховой торф. Объекты исследований: семена злаковых трав: тимофеевки луговой *Phleum pratense* L, 1753, овсяницы луговой *Festuca pratensis Huds*, канареечника *Phalaris canariensis*. Оценка влияния нефтезагрязненной почвы проводилась по изменению всхожести семян и морфологическим показателям: масса растений, длина листьев, длина и количество корней. Результаты эксперимента были обработаны методом вариационной статистики. В результате изучения влияния нефтезагряненного торфа на всхожесть семян было установлено, что в вариантах опыта с минимальным содержанием нефти отличий с контрольными значениями не отмечалось. Максимальная концентрация нефти (10 000 мг/кг) снижала всхожесть семян на 9–24%. При увеличении содержания нефти в почве снижались и морфометрические показатели у всех изученных видов злаковых трав. Наибольшие отличия по изученным тест-функциям, в сравнении с контрольным вариантом, отмечались у канареечника, наименьшие – у овсяницы луговой.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение; верховой торф; метод биотестирования; злаковые травы; тест-функции; чувствительность; устойчивость.

Сведения об авторе: Акатьева Татьяна Григорьевна, канд. биол. наук, государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия, akatyevat@mail.ru

Abstract. Purpose of the study: to study the effect of oil pollution on the morphological parameters of cereal grasses: canary grass, timothy grass and meadow fescue. Tasks: assessment of the impact of oil pollution of soils on seed germination, growth and development of the studied species by morphological parameters; analysis of the species variability of the studied indicators. Oil-contaminated high-moor peat was used as a substrate. Objects of research: seeds of cereal grasses: meadow timothy *Phleum pratense* L, 1753, meadow fescue *Festuca pratensis Huds*, canary grass *Phalaris canariensis*. Evaluation of the effect of oil-contaminated soil was carried out on the basis of changes in seed germination and morphological parameters: plant mass, leaf length, length and number of roots. The experimental results were processed by the method of variation statistics. As a result of studying the effect of oil-contaminated peat on seed germination, it was found that in the variants of the experiment with the minimum oil content, no differences were noted with the control values. The maximum concentration of oil (10,000 mg / kg) reduced seed germination by 9–24%. With an increase in the oil content in the soil, the morphometric parameters of all the studied species of cereal grasses also decreased. The greatest differences in the studied test functions, in comparison with the control variant, were noted in canary grass, the smallest – in meadow fescue.

Keywords: oil pollution; high-moor peat; biotesting method; cereal herbs; test functions; sensitivity; sustainability.

About the author: Akateva Tatyana Grigorievna, Ph.D., State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, akatyevat@mail.ru

Введение. Нефтеперерабатывающая отрасль промышленности является одной из ведущих в Тюменской области и оказывает решающее влияние на экологическую ситуацию региона [18, с. 98]. Особую опасность представляет химическое загрязнение местности нефтью и нефтепродуктами. Нефть в окружающую среду попадает как по геологическим причинам в подземном пространстве, так и в результате аварий на промысловом оборудовании, сооружениях по ее подготовке и при транспортировании.

В настоящее время, несмотря на предпринимаемые меры, проблема загрязнения окружающей среды нефтью и продуктами ее переработки остается все еще нерешенной. В значительной мере это связано с загрязнением почв, которое происходит практически на всех стадиях технологического процесса нефтедобычи [2, с. 222]. Основными факторами отрицательного воздействия нефтяного загрязнения на растения являются токсическое действие поллютанта и изменения физико-химических свойств почвы. Влияние нефтяного загрязнения на физикохимические свойства почвы связано, главным образом, с обволакиванием нефтью почвенных частиц в связи, с чем происходит сильное

увеличение гидрофобности почвы. Она утрачивает способность впитывать и удерживать воду, происходит вытеснение воздуха из почвенных пор, и, в конечном итоге, нарушается водный и воздушный режимы почвы [19, с. 314].

По данным Е.Е. Орловой с соавторами [16, с. 104], изучавших состояние почв и растительности участков разливов нефти разной давности месторождений, находящихся на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, показано, что на свежих разливах (2016 г.) растительный покров практически полностью отсутствовал или был представлен редкими всходами травянистой растительности, только выполненной биорекультивации. Как сырая, так и товарная нефть, оказывает сильное влияние на рост растений и состояние культурного фитоценоза в целом. Она резко снижает всхожесть семян и густоту травостоя, вызывая его сильное изреживание и оказывая ингибирующее действие на рост оставшихся (выживших) растений [20, с. 126]. Изучение механизмов адаптации растений в ответ на действие нефти позволяет выявить признаки (в том числе анатомо-морфологические, обеспечивающие их устойчивость к данному антропогенному фактору) и подобрать высокотолерантные виды местной флоры для разработки научно обоснованных методов фитомелиорации почв, загрязненных нефтью. Изучаемые признаки можно использовать как индикаторы для характеристики состояния почв при нефтяном загрязнении [10, с. 16].

Воздействие загрязнения почв нефтепродуктами на жизнедеятельность растений носит неоднозначный характер. В.В. Дмитриевой и Г.А. Петуховой [6, с. 9] показано, что негативное влияние нефти на рост и развитие растений проявляется уже при внесении ее в дозе выше 50 мг/кг. Токсичные эффекты проявляются в быстром повреждении, разрушении, а затем и отмирании всех живых, активно функционирующих тканей растений в вегетирующем состоянии, на которые попадают ее брызги. Нефть оказывает отрицательное влияние на рост, метаболизм и развитие растений, а также молодые проростки, подавляет рост надземных и подземных частей растений.

Согласно результатам хронических экспериментов, проведенных А.А. Утомбаевой и А.М. Петровым [19, с. 314], выращивание гороха на более легкой нефтезагрязненной почве активизирует прирост корневой системы. Активный прирост корневой системы наблюдался и при выращивании гороха на среднесуглинистой почве в вариантах, содержавших 5,9 г/кг и 10,8 г/кг НП, при незначительном ингибировании роста при максимальной испытанной концентрации поллютанта. Нефтяное загрязнение значительно изменяет морфологию растения осоки острой (*Carex acuta*). Наблюдается уменьшение роста стебля в высоту, уменьшается его радиальный рост, нефтяное загрязнение ингибирует ростовые процессы. В условиях загрязнения нефтью значительно снижается площадь ассимиляционной поверхности растений (у мезофитных и ксерофитных растений), биопродуктивность [10, с. 16]. Значительным изменениям подвергаются анатомические особенности растений. Увеличивается толщина листовой пластинки, исчезает кутикула, уменьшаются размеры клеток и количество хлоропластов. В условиях нефтяного загрязнения происходит утолщение эпидермы корня, что возможно является защитным механизмом на токсическое действие нефти [10, с. 17].

В результате исследования Е.С. Осиповой и Г.А. Петуховой было выявлено, что при действии нефтяного загрязнения среды растения находятся в состоянии стресса, активизируются процессы перекисного окисления липидов. При действии нефтяного загрязнения отмечено снижение концентрации пигментов фотосинтеза у большинства исследуемых растений. У рогоза узколистного и осоки сероватой выявлено увеличение концентрации хлорофилла a и b, каротиноидов, что свидетельствует об адаптации растений [17, с. 135]

При обработке растений ауксинпродуцирующими бактериями рода *Pseudomonas* (*P. plecoglossicida* 2.4- D, *P. turukhanskensis* IB 1.1, *P. hunanensis* IB C7) и штамма *Enterobacter sp*. UOM 3 на рост и гормональный баланс растений ячменя при нефтяном загрязнении почвы наблюдалось подавление роста растений и повышение массовой доли корней, что, очевидно, было связано с обнаруженным накоплением АБК в побегах растений. Бактеризация растений, хотя и в разной степени в зависимости от штамма, предотвращала накопление гормона и положительно влияла на накопление массы растений [3, с. 51].

Чаще всего опасность техногенного воздействия оценивается на основании суммарного коэффициента техногенного загрязнения, рассчитанного в соответствии с данными валового содержания химических элементов. Такой подход является не всегда эффективным. Методы биотестирования, основанные на ответной реакции живых организмов на негативное воздействие загрязняющих веществ, способны давать достоверную информацию о качестве компонентов окружающей среды, в том числе почв [11, с. 84].

Материал и методы исследования. Работа проведена в лабораториях Государственного аграрного университета Северного Зауралья и Горыбцентра. В опытах использовали нефть, поступающую по трубопроводу из п. Шаим на нефтеперекачивающую станцию г. Тюмени. Почва органогенного типа (торф) предварительно освобождалась от посторонних включений (корни растений и пр.), измельчалась и высушивалась в соответствии с требованиями [4; 5; 12]. Дистиллированная вода пропускалась через торф, который равномерно с помощью пульверизатора загрязнялся раствором сырой нефти в петролейном эфире. Полученную смесь упаривали под вытяжкой в течение трех суток в лабораторных условиях. Объем загрязняющего раствора около 0,5 л содержал навеску нефти, необходимую для получения концентраций 300, 1000, 3000 и 10000 мг/кг. В качестве контроля использовали идентичный незагрязненный торф.

Для проведения биотестирования использовали семена травянистых растений: овсяницы луговой *Festuca pratensis* Huds., тимофеевки луговой *Phleum pratense* L., канареечника (двукисточник канареечный) *Phalaris canariensis* L., используемых в составе травосмесей при рекультивации нефтезагрязненных территорий [15, с. 52]. Продолжительность наблюдений – 20 суток. Эксперименты проводили в 3-х повторностях, в каждой – по 100 штук семян. Всего в экспериментах было использовано 4500 семян растений – с учетом повторностей и сроков наблюдений, произведено более 13 тысяч измерений и 4500 взвешиваний (определение массы растений). Для взвешивания использовали технические весы.

Параметры оценки: всхожесть семян, длина корня проростка, количество корней проростка, общая масса растений. На 5 сутки подсчитывали количество проросших растений в каждой чашке Петри (учет всхожести). Морфометрические характеристики растений анализировали в течение всего срока наблюдений. Для этого растения осторожно извлекали из субстрата, корни каждого растения тщательно отмывали в воде. Затем измеряли длину самого длинного корня каждого растения. Подсчитывали также количество корней и массу растений. Для каждого срока наблюдений чашки Петри с почвой готовили отдельно для каждого варианта опыта.

При определении степени токсичности почв методами биотестирования большое значение имеет чувствительность к токсикантам подопытных организмов [11, с. 85]. В нормативных документах [9] рекомендовано использовать минимум два тест-организма. Результаты исследований подвергали математической обработке методом вариационной статистики, основанном на вычислении критерия достоверности, сравниваемого затем с табличными данными (критерием достоверности Стьюдента) [1, с. 180-181].

Результаты и их обсуждение. В результате изучения воздействия нефтезагрязненного торфа на *всхожесть семян* растений было установлено, что наибольшие отличия по сравнению с контролем отмечались в максимальной концентрации 10000 мг/кг: на 11% (тимофеевка луговая) – 23,8% (канареечник), тогда как в пробах с содержанием нефти 300–1000 мг/кг количество всхожих семян не отличалось от контрольных значений (рис. 1).

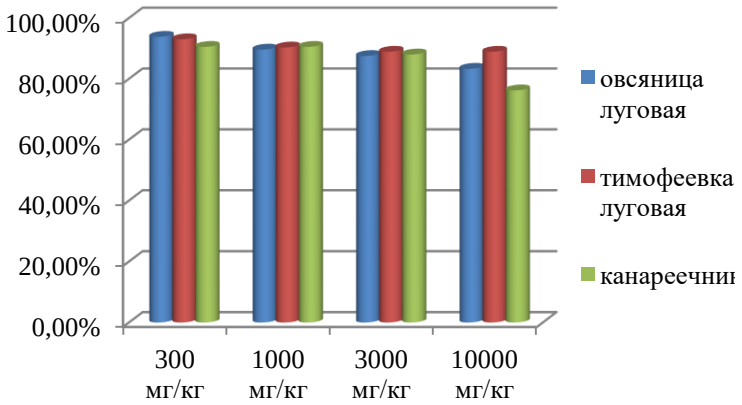


Рис. 1. Изменение всхожести семян растений (% к контролю) в зависимости от концентраций нефти

Отрицательное влияние нефти сказывалось и на морфологических функциях растений. Так, в начальный период наблюдений, 5 сутки, длина проростков *овсяницы луговой*, в зависимости от содержания токсиканта в почве, снизилась на 10–25%. Аналогичными отличиями характеризовались и другие изучаемые параметры – на 10–40% ниже по сравнению с контролем (табл. 1).

Вероятно, растения испытывали стресс от влияния токсиканта. Как видим, по мере увеличения содержания нефти в торфе уменьшались и линейные размеры растений. С продлением срока наблюдений регистрировали увеличение негативного воздействия нефти на растения, проявляющееся в снижении массы растений и количества корней. По утверждению Л.Е. Мазуниной [10, с. 17], изменения анатомии и морфологии органов направлены на создание защитных механизмов и выполняют компенсаторную функцию в ответ на нефтяное загрязнение. Наибольшее снижение (% к контролю) длины проростков, количества корней, массы растений *тимофеевки луговой* наблюдалось

на 5 сутки опыта и составляло 24,31 и 19% соответственно при максимальной концентрации нефти 10 000 мг/кг, а наибольшее снижение длины корней составило 37% при той же концентрации на 15 сутки (табл. 2).

Таблица 1

Морфометрические показатели овсяницы луговой

Показатели	К	Концентрация нефти, мг/кг			
		300	1000	3000	10000
5 сутки					
Длина проростков, см	2,21±0,16	1,99±0,04	1,86±0,06	1,75±0,07	1,70±0,04
Длина корней, см	0,50±0,06	0,40±0,06	0,40±0,06	0,33±0,03	0,30±0,13**
Количество корней, шт.	12±0,71	11±0,58	11±1	11±0,41	10±0,41
Масса 10 растений, мг	73,3±0,88	71,0±0,58	65,3±2,34*	65,3±2,03*	63,3±1,77*
10 сутки					
Длина проростков, см	7,73±0,29	5,93±0,18*	5,67±0,23*	5,53±0,27*	5,17±0,18**
Длина корней, см	0,49±0,01	0,47±0,02	0,42±0,01*	0,41±0,02	0,39±0,01*
Количество корней, шт	18±0,91	17±0,41**	16±0,41***	15±0,58	14±0,58*
Масса 10 растений, мг	108,0±4,17	93,0±4,05	88,0±1,16*	85,7±1,47*	84,0±0,88*
15 сутки					
Длина проростков, см	8,24±0,16	8,07±0,18	7,95±0,07	7,83±0,09	7,81±0,16
Длина корней, см	0,56±0,02	0,55±0,03	0,53±0,01	0,41±0,02*	0,39±0,02**
Количество корней, шт.	19±0,58	16±0,58*	16±0,71*	15±1,16	15±0,91*
Масса 10 растений, мг	123,0±11,25	121,7±15,39	106,7±8,18	101,7±4,41**	95,7±0,33
20 сутки					
Длина проростков, см	8,28±0,06	8,11±0,06	7,58±0,23	7,53±0,30	7,34±0,13**
Длина корней, см	0,54±0,02	0,50±0,03	0,42±0,03	0,40±0,03*	0,40±0,02*
Количество корней, шт.	18±1	16±0,58	15±0,58	13±0,58*	13±0,91*
Масса 10 растений, мг	136,0±6,12	135,7±4,26	133,3±2,91	124,7±4,38	116,7±4,41

Примечание: здесь и далее * – P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001

Таблица 2

Морфометрические показатели тимофеевки луговой

Показатели	К	Концентрация нефти, мг/кг			
		300	1000	3000	10000
5 сутки					
Длина проростков, см	2,28± 0,08	1,95±0,06*	1,91±0,04*	1,87±0,04*	1,73±0,03**
Длина корней, см	0,22±0,01	0,16±0,01**	0,16±0,00**	0,16±0,01**	0,15±0,01**
Количество корней, шт	12±1	12±0,41	11±0,71	11±0,71	10±0,71
Масса 10 растений, мг	25,0± 1,53	21,6±1,34	21,3±1,45	21,3±0,33	20,3±0,33
10 сутки					
Длина проростков, см	5,29±0,05	4,95±0,10	4,77±0,04**	4,76±0,04**	4,30±0,15**
Длина корней, см	0,26±0,03	0,26±0,04	0,24±0,02	0,20±0,02	0,18±0,02
Количество корней, шт	16±1,16	15±1,36	14±0,41	13±1,53	12±0,58
Масса 10 растений, мг	38,0±0,91	38,0±2,52	36,0±1,23	36,0±1,16	35,0±1,53
15 сутки					
Длина проростков, см	5,68±0,13	5,37±0,02	5,27±0,12	5,19±0,10	4,85±0,10*
Длина корней, см	0,27±0,02	0,20±0,01*	0,19±0,01*	0,19±0,01*	0,17±0,02*
Количество корней, шт	16±1,36	15±1,00	13±1,00	12±0,58	12±0,58
Масса 10 растений, мг	37,3±2,67	33,3±3,18	34,0±1,73	33,3±0,67	30,3±0,88
20 сутки					
Длина проростков, см	5,28± 0,14	5,18±0,02	5,14± 0,01	5,14±0,01	4,62±0,08*
Длина корней, см	0,21±0,01	0,19±0,01	0,19±0,01	0,19±0,00	0,18±0,01
Количество корней, шт	19±1,00	18±0,91	17±0,71	17±0,91	15±1,00
Масса 10 растений, мг	35,0±1,16	34,0±0,58	33,7±1,77	31,0±1,00	31,0±0,58

Наибольшее снижение (% к контролю) длины проростков *канареечника (кисточника)* наблюдалось на 10 сутки и составляло 19%, количества корней на 15 сутки – 38% при максимальной концентрации нефти 10000 мг/кг, а наибольшее снижение длины корней составило 18% при той же концентрации на 5 сутки. Масса растений на протяжение всего

опыта оставалась почти на уровне контроля, лишь на 10 сутки отклонение от контроля составило 11% (табл. 3). Таким образом, было установлено, что все исследуемые у растений параметры снижаются при увеличении концентрации нефти в торфе. Анализ *всхожести семян* позволяет расположить растения по степени увеличения чувствительности в следующем ряду: *тимофеевка луговая → овсяница луговая → канареечник.*

Таблица 3

Морфометрические показатели канареечника

Показатели	К	Концентрации нефти, мг/кг			
		300	1000	3000	10000
5 сутки					
Длина проростков, см	3,59±0,04	3,07±0,02**	3,07±0,04**	3,01±0,04**	2,97±0,03**
Длина корней, см	0,45± 0,02	0,41±0,01	0,39±0,03	0,38±0,01*	0,37±0,01*
Количество корней, шт	17±0,41	15±0,41*	14±0,41*	14±0,41*	14±0,41*
Масса 10 растений, мг	51,0±1,00	50,3±1,77	46,3±1,45	46,0±0,58*	45,7±1,20*
10 сутки					
Длина проростков, см	7,97±0,06	6,69±0,05***	6,68±0,10**	6,49±0,02***	6,45±0,09***
Длина корней, см	0,34±0,01	0,33±0,02	0,30±0,02	0,30±0,01*	0,29±0,02
Количество корней, шт	17±0,71	17±0,58	17±0,71	16±1,53	16±0,58
Масса 10 растений, мг	71,0±0,71	70,3±0,88	66,7±1,67	64,3±0,88**	63,0±0,58**
15 сутки					
Длина проростков, см	7,24±0,21	6,95±0,04	6,80±0, 05	6,49±0,03*	6,28±0,09*
Длина корней, см	0,30±0,02	0,29±0,01	0,26±0,02	0,26±0,01	0,25±0,01
Количество корней, шт	24±0,71	19±0,41**	17±1,52*	16±0,91**	15±0,91**
Масса 10 растений, мг	71,3±1,11	68,0±0,58	67,3±1,45	67,0±1,53	63,3±0,67**
20 сутки					
Длина проростков, см	7,28±0,01	7,00±0,17	6,32±0,16**	6,30±0,05***	6,29±0,02***
Длина корней, см	0,30±0,01	0,30±0,03	0,27±0,02	0,25±0,02	0,25±0,03
Количество корней, шт	22±0,58	18±0,41*	16±1,23*	15±0,58**	15±0,71**
Масса 10 растений, мг	68,7±0,67	67,3±0,62	66,3±0,88	65,7±1,77	63,0±0,58**

По данным В.В. Дмитриевой и Г.А. Петуховой [6, с. 9], при действии нефтяного загрязнения в концентрации 1% по учету всхожести семян большую чувствительность проявила овсяница красная. В нашем эксперименте среди трех растений овсяница проявила умеренную чувствительность – вторая позиция, что, вероятно, связано с видовой спецификой. По изменению *длины проростков растений* значимых отличий не наблюдалось. Одним из самых чувствительных органов у растений оказывается корень, поскольку непосредственно контактирует с почвой. В отличие от побега развитие корневой системы осуществляется в условиях ослабленного генотипического контроля, допускающего огромную свободу фенотипического реагирования на особенности почвы. Это связано с тем, что почвенная среда обитания, где проходила эволюция корневых систем растений, является более неоднородной, неупорядоченной и непредсказуемой в разных точках по сравнению с воздушной средой обитания, в которой располагается побег [10, с. 18]. По данным анализа изменения длины и количества корней по степени увеличения чувствительности растения можно расположить в следующем порядке: изменение длины корней: *тимофеевка луговая → канареечник→ овсяница луговая;* – количество корней растений: *тимофеевка луговая → овсяница луговая→ канареечник.*

Л.В. Михайлова с соавторами также отмечали заторможенность роста травянистых растений. Особенно заметным было угнетение роста корней [14, с. 91–92]. Д.В. Зейферт и Л.М. Гамерова установили обратную зависимость между концентрацией нефти в почве и средней длиной надземной и подземной части растений кресс-салата (*Lepidium sativum*) [8, с. 80]. По данным Т.С. Шориной и О.Ю. Ермаковой установлено, что при минимальном загрязнении (3%) наиболее чувствительными видами к углеводородам в почве являются представители семейства Злаковых (Мятликовые Poaceae Barnhart.) [21, с. 165]. Т.В. Минникова с соавторами наблюдали снижение длины корней редиса посевного *Raphanus sativus* на 38–40% по сравнению с контролем на 30-е и 60-е сутки при загрязнении почвы нефтью в количестве 10% [13, с. 46]. В течение наблюдаемого периода масса растений регистрировалась достоверно ниже контрольных значений на 8% (канареечник) и на 14% (овсяница луговая). Торможение накопления зеленой массы злаков, видимо, объясняется тем, что в результате

обволакивания корневой системы нефтяными загрязнениями питательные вещества в нее не поступают. Одновременно в значительной мере ухудшается фотосинтез. В результате этих проявлений растения замедляют свой рост [7, с. 12]. К концу срока наблюдений (20 суток) у растений в максимальной концентрации нефти, 10000 мг/кг, наибольшие регистрируемые отличия от контрольных значений составляли: у овсяницы луговой – длина корня (26%), у канареечника – количество корней (31,8%) (рис. 2).

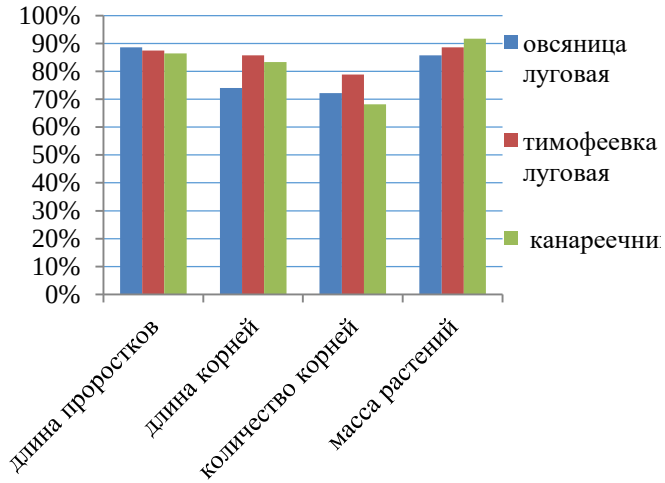


Рис. 2. Изменение морфологических показателей растений (% к контролю) в концентрации нефти 10000 мг/кг на 20 сутки опыта

Выводы. В результате проведенных исследований было установлено:

1. Наибольшие отклонения морфометрических показателей растений наблюдались при максимальной концентрации нефти в торфе, 10000 мг/кг.
2. Наибольшую чувствительность к нефтяному загрязнению проявил канареечник, менее – тимофеевка луговая.
3. Наибольшая изменчивость среди изученных тест – функций у всех растений под влиянием нефтяного загрязнения наблюдалась по количеству корней.
4. Определены наиболее устойчивые показатели: овсяница луговая – длина проростков, тимофеевка луговая – всхожесть, канареечник – масса растений.

Литература

1. Акатьева Т.Г. Использование метода вариационной статистики в экотоксикологии // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Курган, 2019. С. 179-183.

2. Акатьева Т.Г. Использование фитотестов в оценке качества почв // Биотехнологические приемы производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Курск, 2021. С. 222-227.

3. Высоцкая Л.Б., Ахтямова З.А., Архипова Т.Н. и др. Ввлияние ассоциации растений ячменя с бактериями – деструкторами нефти на содержание гормонов и рост растений ячменя на фоне нефтяного загрязнения // Экобиотех. 2020. Т. 3. №1. С. 51-58.

4. ГОСТ Р 56157-2014 Почва. Методики (методы) анализа состава и свойств проб почв. Общие требования к разработке дата введения 09.10. 2014. Приказ N9 1295-ст. М.: Стандартинформ. 2015. 23 с.

5. ГОСТ Р ИСО 22030-2009 Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. ОКС 13.080.05. Дата введения 2011-01-01.

6. Дмитриева В.В., Петухова Г.А. Влияние нефтяного загрязнения на морфофизиологические показатели некоторых травянистых растений // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2017. №2. С. 9.

7. Егоров А.Н., Щербаков Н.С. Влияние нефтяных загрязнений на рост и развитие травянистых растений // Инновационные исследования проблемы внедрения результатов и направления развития. Пермь (Уфа), 2017. С. 9-14.

8. Зейферт Д.В., Гамерова Л.М. Сравнительная оценка токсичности нефтей различных месторождений // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. №1. С. 79-83.

9. Критерии отнесения отходов к классам опасности для окружающей природной среды. Приказ МПР РФ № 511 от 15.06.2001. https://base.garant.ru/2158155/

10. Мазунина Л.Е. Особенности анатомии и морфологии высших растений в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета.2009. №1. С. 16-18.

11. Маячкина Н.В. Чугунова М.В. Особенности биотестирования почв с целью их экотоксикологической оценки // Вестник Нижегородского университета. 2009. №1. С. 84-93.

12. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. N2609-82 от 5 августа 1982 г.).

13. Минникова Т.В., Денисова Т.В., Колесников С.И. и др. Оценка агроэкологических показателей загрязненного нефтью чернозема Ростовской области при ремедиации мочевиной и гуматом калия // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. №1. С. 44-48.

14. Михайлова Л.В., Соколовская Е.А., Цулаия А.М. и др. Фитотоксичность органогенных почв (верховой торф), загрязненных нефтью // Проблемы региональной экологии. 2012. №2. С. 91-96.

15. Моторин А.С., Игловиков А.В. Развитие искусственно созданного на биологическом этапе рекультивации фитоценоза в условиях Крайнего Севера // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. №6 (247). С. 50-56.

16. Орлова Е.Е., Копцева Е.М., Веселова А.В. Почвенно-геоботаническая характеристика территории Ямало-Ненецкого автономного округа, подверженных аварийным разливам нефти // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Новосибирск, 2017. С. 103-107.

17. Осипова Е.С., Петухова Г.А. Влияние нефтяного загрязнения на биохимические и физиологические показатели растений // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. №5-1. С. 131-135.

18. Петухова Г.А., Дмитриева В.В., Забродина Е.И. и др. Ответные реакции модельных тест-объектов на нефтяное загрязнение среды // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2017. №3. С. 98-107.

19. Утомбаева А.А., Петров А.М. Влияние нефтяных загрязнений на жизнедеятельность одно- и двудольных растений на рекульбтивированных аллювиальных луговых почвах // Химия и инженерная экология. Казань. 2020. С. 314-317.

20. Утомбаева А.А., Петров А.М., Кузнецова Т.В.и др. Влияние остаточного содержания нефтяных загрязнений в аллювиальной луговой почве на рост высших растений // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Киров. 2019. С. 126-128.

21. Шорина Т.С., Ермакова О.Ю. Оценка влияния различных доз нефти на динамику естественной растительности чернозема южного Оренбургского Предуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. №12 (131). С. 165-167.

References

1. Akat'eva, T.G. 2019. Ispol'zovanie metoda variatsionnoi statistiki v ekotoksikologii. In *Aktual'nye pro-blemy ekologii I prirodopol'zovaniya,* Kurgan, 179-183. (in Russ.).

2. Akat'eva, T.G. (2021). Ispol'zovanie fitotestov v otsenke kachestva pochv. In *Biotekhnologicheskie priemy pro-izvodstva I pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii, Kursk*, 222-227. (in Russ.).

3. Vysotskaya, L.B., Akhtyamova, Z.A., & Arkhipova, T.N. (2020). Vvliyanie assotsiatsii rastenii yachmenya s bakteriya-mi – destruktorami nefti na soderzhanie gormonov I rost rastenii yachmenya na fone neftyanogo zagryazneniya. *Ekobiotekh, 3*(1). 51-58. (in Russ.).

4. GOST R 56157-2014 Pochva. Metodiki (metody) analiza sostava I svoistv prob pochv (2015). Obshchie trebova-niya k razrabotke data vvedeniya 09.10. 2014. Prikaz N9 1295-sg. Moscow.

5. GOST R ISO 22030-2009 Kachestvo pochvy. Biologicheskie metody. Khronicheskaya fitotoksichnost' v otnoshenii vysshikh rastenii. OKS 13.080.05. Data vvedeniya 2011-01-01.

6. Dmitrieva, V.V., & Petukhova, G.A. (2017). Vliyanie neftyanogo zagryazneniya na morfofiziologicheskie pokazateli nekotorykh travyanistykh rastenii. APRIORI. *Ceriya: Estestvennye I tekhnicheskie nauki,* (2). 9. (in Russ.).

7. Egorov, A.N., & Shcherbakov, N.S. (2017). Vliyanie neftyanykh zagryaznenii na rost I razvitie travyanistykh rastenii. In *Innovatsionnye issledovaniya problemy vnedreniya rezul'tatov I napravleniya razvitiya*, Perm' (Ufa), 9-14. (in Russ.).

8. Zeifert, D.V., & Gamerova, L.M. (2013). Sravnitel'naya otsenka toksichnosti neftei razlichnykh mestorozhdenii. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal, 20*(1). 79-83. (in Russ.).

9. Kriterii otneseniya otkhodov k klassam opasnosti dlya okruzhayushchei prirodnoi sredy. Prikaz MPR RF № 511 ot 15.06.2001. https://base.garant.ru/2158155/

10. Mazunina, L.E. (2009). Osobennosti anatomii I morfologii vysshikh rastenii v usloviyakh neftyanogo zagryaz-neniya. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta,* (1). 16-18. (in Russ.).

11. Mayachkina, N.V. & Chugunova, M.V. (2009). Osobennosti biotestirovaniya pochv s tsel'yu ikh ekotoksikologicheskoi otsenki. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta,* (1). 84-93. (in Russ.).

12. Metodicheskie rekomendatsii po gigienicheskomu obosnovaniyu PDK khimicheskikh veshchestv v pochve. N2609-82 ot 5 avgusta 1982 g.).

13. Minnikova, T.V., Denisova, T.V., & Kolesnikov, S.I. (2018). Otsenka agroekologicheskikh pokazatelei za-gryaznennogo neft'yu chernozema Rostovskoi oblasti pri remediatsii mochevinoi I gumatom kaliya. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka,* (1). 44-48. (in Russ.).

14. Mikhailova, L.V., Sokolovskaya, E.A., & Tsulaiya, A.M. (2012). Fitotoksichnost' organogennykh pochv (verkho-voi torf), zagryaznennykh neft'yu. *Problemy regional'noi ekologii,* (2). 91-96. (in Russ.).

15. Motorin, A.S., & Iglovikov, A.V. (2015). Razvitie iskusstvenno sozdannogo na biologicheskom etape rekul'ti-vatsii fitotsenoza v usloviyakh Krainego Severa. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki, 6*(247). 50-56. (in Russ.).

16. Orlova, E.E., Koptseva, E.M., & Veselova, A.V. (2017). Pochvenno-geobotanicheskaya kharakteristika territorii Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga, podverzhennykh avariinym razlivam nefti. In *Pochvennye resursy Si-biri: vyzovy XXI veka,* Novosibirsk, 103-107. (in Russ.).

17. Osipova, E.S., & Petukhova, G.A. (2014). Vliyanie neftyanogo zagryazneniya na biokhimicheskie I fiziologicheskie pokazateli rastenii. *Teoreticheskie I prikladnye aspekty sovremennoi nauki,* (5-1). 131-135. (in Russ.).

18. Petukhova, G.A., Dmitrieva, V.V., & Zabrodina, E.I. (2017). Otvetnye reaktsii model'nykh test-ob"ektov na neftyanoe zagryaznenie sredy. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya I prirodopol'-zovanie,* (3). 98-107. (in Russ.).

19. Utombaeva, A.A., & Petrov, A.M. (2020). Vliyanie neftyanykh zagryaznenii na zhiznedeyatel'nost' odno- I dvudol'-nykh rastenii na rekul'btivirovannykh allyuvial'nykh lugovykh pochvakh. In *Khimiya I inzhenernaya ekologiya,* Kazan'. 314-317. (in Russ.).

20. Utombaeva, A.A., Petrov, A.M., & Kuznetsova, T.V. (2019). Vliyanie ostatochnogo soderzhaniya neftyanykh za-gryaznenii v allyuvial'noi lugovoi pochve na rost vysshikh rastenii. In *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnykh I prirodno-tekhnogennykh 134reten,* Kirov. 126-128. (in Russ.).

21. Shorina, T.S., & Ermakova, O.Yu. (2011). Otsenka vliyaniya razlichnykh doz nefti na dinamiku estestvennoi rasti-tel'nosti chernozema yuzhnogo Orenburgskogo Predural'ya. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo univer-siteta,* (12 (131)). 165-167. (in Russ.).

Акатьева Т.Г. Влияние нефтяного загрязнения на рост и развитие *Phleum pratense, Festuca pratensis, Phalaris canariensis* // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 127-134. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/17

Akateva, T.G. (2021). The Influence of Oil Pollution on the Growth and Development of *Phleum pratense, Festuca pratensis, Phalaris canariensi*s. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* (2(54)). 127-134. (in Russ.). https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/17

дата поступления: 18.11.2020 дата принятия: 12.03.2021