



ВЕСТНИК НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Bulletin of Nizhnevartovsk State University



Журнал издается с 2008 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, утвержденный ВАК РФ

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, Республика Кот-д'Ивуар)
Горшков-Кантакузен В. А. (г. Мидлсекс, Великобритания)
Дайнеко Н. М. (г. Гомель, Республика Беларусь)
Еманов А. Г. (г. Тюмень, Россия)
Ибрагимова Л. А. (г. Нижневартовск, Россия)
Казанский М. М. (г. Париж, Франция)
Кулагин А. Ю. (г. Уфа, Россия)
Лубышева Л. И. (г. Сургут, Россия)
Маймерова Г. Ш. (г. Бишкек, Кыргызская Республика)
Медведев С. С. (г. Санкт-Петербург, Россия)
Нурбеков Б. Ж. (г. Астана, Республика 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, Азербайджанская Республика)
Усманов И. Ю. (г. Нижневартовск, Россия)
Фатулляев П. У. (г. Нахчыван, Азербайджанская Республика)
Цысь В. В. (г. Нижневартовск, Россия)
Шаров О. В. (г. Санкт-Петербург, Россия)

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, Republic of Côte d'Ivoire)
Gorshkov-Kantakuzen V.A. (Middlesex, UK)
Daineko N. M. (Gomel, Republic of Belarus)
Emanov A. G. (Tyumen, Russia)
Ibragimova L. A. (Nizhnevartovsk, Russia)
Kazansky M. M. (Paris, France)
Kulagin A. Yu. Doctor of Biological Sciences, Professor (Ufa, Russia)
Lubysheva L. I. (Moscow, Russia)
Majorova G. Sh. (Bishkek, Kyrgyz Republic)
Medvedev S. S. (St. Petersburg, Russia)
Nurbekov B. Zh. (Astana, Republic of Kazakhstan)
Sinyavsky N. I. (Surgut, Russia)
Solodkin Ya. G. (Nizhnevartovsk, Russia)
Surtaeva N. N. (St. Petersburg, Russia)
Talibov T. G. (Nakhchivan, Azerbaijan Republic)
Usmanov I. Yu. (Nizhnevartovsk, Russia)
Fatullayev P. U. (Nakhchivan, Azerbaijan Republic)
Tsys V. V. (Nizhnevartovsk, Russia)
Sharov O. V. (St. Petersburg, Russia)

язык публикации - русский, английский

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55479 от 25 сентября 2013 г.

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.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

Адрес редакции: Россия, 628600, ХМАО-Югра, г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, 4, оф. 1001. E-mail: izd@nvsu.ru

The journal is registered with the Russian Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskommnadzor). Certificate of NVSU Bulletin Printed Publication № FS77-55479 as of 25th September 2013.

The journal is included in the citation indices and international bibliographic databases: Russian Science Citation Index (RSCI), Scientific Electronic Library IPRbooks, Scientific Electronic Library 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.

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

Address: Russia, 628600, Khanty-Mansiysk Autonomous Area-Yugra, Nizhnevartovsk, st. Marshal Zhukov, 4, of. 1001 E-mail: izd@nvsu.ru

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2>



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

Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 19.06.2020
Формат 60×84 1/8. Бумага для множительных аппаратов
Гарнитура Times. Усл. печ. листов 19,5. Тираж 1000 экз.
Заказ 2154

Отпечатано в НВГУ
Россия, 628615, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, д. 4.
Тел./факс: (3466) 24-50-51, E-mail: izdatelstvo@nvsu.ru

ISSN 2311-1402
ISSN 2311-4444
ISSN 2686-8784

©Нижневартовский государственный университет, 2020

©Nizhnevartovsk State University, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Родовиков С. А., Чураков А. А., Попова Н. М., Хижняк С. В. ПОЧВЕННЫЕ МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА КАК ИСТОЧНИК ШТАММОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СОИ ОТ ФУЗАРИОЗА В ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ.....	4
Марамохин Э. В., Сиротина М. В., Зонтиков Д. Н. КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИЦЕЛИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ФИТОПАТОГЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ В УСЛОВИЯХ IN VITRO.....	12
Макарова Е. М. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ЮЖНОГО ПЛЕСА ОЗ. МУНОЗЕРО (КАРЕЛИЯ).....	19
Скоробогатова О. Н., Семочкина М. А., Москалева А. С. ВОДОРОСЛИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОВОГО ФАКЕЛА (ХМАО–ЮГРА).....	26
Щукина Д. А., Борисова Г. Г., Малева М. Г. ОЦЕНКА ПРЕДЕЛОВ ТОЛЕРАНТНОСТИ АДВЕНТИВНОГО МАКРОФИТА <i>LEMNA GIBBA</i> L. К ДЕЙСТВИЮ ИОНОВ МЕДИ.....	33
Обидина И. В., Чурилов Г. И., Полищук С. Д., Тарара А. Ю., Гомозова С. С., Рыбин Н. Б., Амплеева Л. Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩЕГО И ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОПОРОШКОВ МЕДИ И КОБАЛЬТА НА ПРОРОСТКИ РИСА.....	42
Макаров, П. Н. Макарова Т. А., Самойленко З. А., Гулакова Н. М. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ.....	53
Турбина И. Н., Кукуричкин Г. М. АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТРОДУЦЕНТОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ БОТАНИЧЕСКОГО САДА г. СУРГУТА.....	60
Евсеева А. А. ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАВЯНИСТОГО ЯРУСА ГОРОДСКИХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСОВ (НА ПРИМЕРЕ КАЛУГИ И ОБНИНСКА).....	68
Шереметов Р. Т., Галахов В. П. ВЛИЯНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ НА ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ БОГАТСТВО ФЛОРЫ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. ТОМЬ).....	76

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Хныкин А. С., Иванцова Е. А. СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ПАУКОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ.....	90
Псарев А. М. МАТЕРИАЛЫ К ИЗУЧЕНИЮ ФАУНЫ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ (УСТЬЕ р. ПЕСЧАНОЙ).....	97
Стариков В. П. ЭКТОПАРАЗИТЫ СТЕПНОЙ ПЕСТРУШКИ <i>LAGURUS LAGURUS</i> PALLAS, 1773 ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ (КУРГАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) В СВЯЗИ С ПРИРОДНОЙ ОЧАГОВОСТЬЮ ТУЛЯРЕМИИ.....	102

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Погоньшева И. А., Луняк И. И., Погоньшев Д. А. СЕЗОННЫЕ МИКРОАЛЬТЕРНАЦИИ ЭКГ-СИГНАЛА У СТУДЕНТОВ СЕВЕРНОГО ВУЗА.....	110
Осин М. В., Мальцев В. П. ОЦЕНКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБУЧАЮЩИХСЯ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА.....	116
Суринов, Д. В. Рагозин О. Н., Шаламова Е. Ю., Шевнин И. А. МЕЖПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РИТМОВ ГЕМОДИНАМИКИ У ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА С НАРУШЕНИЕМ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ.....	124
Рагозин О. Н., Шаламова Е. Ю., Ильющенко Н. А., Рагозина О. В., Шевнин И. А., Суринов Д. В. ПОЛОВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУТОЧНОЙ АКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ НА СЕВЕРЕ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ.....	130

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Романенко Е. А., Московченко Д. В., Кудрявцев А. А., Шигабаева Г. Н. ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ НАДЫМ-ПУРОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ).....	136
Сторчак Т. В., Диденко И. Н., Диденко Н. А. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИМАНО- ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ.....	146
Акатьева Т. Г. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В с. АРМИЗОНСКОЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ.....	151

CONTENT

PLANT ECOLOGY

Rodovikov S. A., Churakov A. A., Popova N. M., Khizhnyak S. V. SOIL MICROBIAL COMMUNITIES AS A SOURCE OF STRAINS FOR THE BIOLOGICAL PROTECTION OF SOYBEANS AGAINST FUSARIUM IN THE YENISEI SIBERIA	4
Maramokhin E., Sirotina M., Zontikov D. CULTIVATION OF MYCELIUM AND THE STUDY OF THE PHYTOPATHOGENICITY OF CERTAIN XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES UNDER IN VITRO CONDITIONS	12
Makarova E. M. STRUCTURAL AND FUNCTIONAL INDICATORS OF BACTERIOPLANKTON OF THE SOUTH STRETCH OF LAKE MUNOZERO (KARELIA)	19
Skorobogatova O. N., Semochkina M. A., Moskalyova A. S. IMPACT OF GAS FLARING ON ALGAE IN YUGRA RAISED BOGS	26
Shchukina D. A., Borisova G. G., Maleva M. G. TOLERANCE OF ADVENTIVE MACROPHYTE <i>LEMNA GIBBA</i> L. TO COPPER IONS: RANGE EVALUATION	33
Obidina I. V., Churilov G. I., Polischuk S. D., Tarara A. Yu., Gomozova S. S., Rybin N. B., Ampleeva L. E. STIMULATING AND TOXIC EFFECTS OF COPPER AND COBALT NANOPOWDERS ON RICE SEEDLINGS	42
Makarov P. N., Makarova T. A., Samoylenko Z. A., Gulakova N. M. A TECHNOLOGY OF ESSENTIAL OIL CROPS GROWTH IN CLOSED SYSTEMS	53
Turbina I. N., Kukurichkin G. M. ADAPTATION POSSIBILITIES OF INTRODUCED PLANTS OF VARIOUS ORIGIN IN CONDITIONS OF BOTANICAL GARDEN AT SURGUT STATE UNIVERSITY	60
Evseeva A. A. ECOLOGICAL-PHYTOCENOTIC ANALYSIS OF THE FIELD LAYER OF URBAN RECREATIONAL FORESTS (ON THE EXAMPLE OF KALUGA AND OBNINSK)	68
Sheremetov R. T., Galakhov V. P. INFLUENCE OF MORPHOMETRIC PARAMETERS OF RIVER BASINS ON TAXONOMIC RICHNESS OF FLORA (BY THE EXAMPLE OF THE TOM RIVER BASIN)	76

ANIMAL ECOLOGY

Hnykin A.S., Ivantsova E. A. SEASONAL VARIATION OF SPIDER SPECIES COMPOSITION IN VOLGOGRAD AGGLOMERATION	90
Psarev A. M. MATERIALS FOR THE STUDY OF THE FAUNA OF COLEOPTERA SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS OF THE ALTAI TERRITORY (THE MOUTH OF THE PESCHANAYA RIVER)	97
Starikov V. P. ECTOPARASITES OF A STEPPE LEMMING <i>LAGURUS LAGURUS</i> PALLAS, 1773 IN THE SOUTH TRANS-URAL REGION (KURGAN OBLAST) IN CONNECTION WITH THE NATURAL FOCI OF TULAREMIA	102

HUMAN ECOLOGY

Pogonyshcheva I. A., Lunyak I. I., Pogonyshchev D. A. SEASONAL MICROALTERNATIONS OF ECG SIGNAL IN STUDENTS OF A NORTHERN UNIVERSITY	110
Osin M. V., Maltsev V. P. EVALUATION OF MORPHO-PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF STUDENTS LIVING IN NORTHERN CONDITIONS	116
Surinov D. V., Ragozin O. N., Shalamova Ye. Yu., Shevnin I. A. INTER-GENDER FEATURES OF HEMODYNAMICS RHYTHMS IN NORTHERNERS WITH IMPAIRED VEGETATIVE REGULATION OF ARTERIAL PRESSURE	124
Ragozin O. N., Shalamova Ye. Yu., Ilyushchenko N. A., Ragozina O. V., Shevnin I. A., Surinov D. V. SEX AND AGE CHARACTERISTICS OF DAILY ACTIVITY OF DISTANCE LEARNING STUDENTS IN NORTHERN CLIMATE	130

ECOLOGY AND NATURE MANAGEMENT

Romanenko E. A., Moskovchenko D. V., Kudryavtsev A. A., Shigabaeva G. N. MOBILE FORMS OF METALS IN SOILS IN THE NADYM-PUR INTERFLUVE (WESTERN SIBERIA)	136
Storchak T. V., Didenko I. N., Didenko N. A. MONITORING OF NATURAL COMPLEXES WHILE DEVELOPING AND OPERATING THE FIELDS OF TIMAN - PECHORA OIL AND GAS PROVINCE	146
Akatyeva T. G. BIOINDICATOR ASSESSMENT OF AIR QUALITY IN ARMIZONSKOYE VILLAGE, TYUMEN REGION	151

С. А. Родовиков, А. А. Чураков, Н. М. Попова, С. В. Хижняк

**ПОЧВЕННЫЕ МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА
КАК ИСТОЧНИК ШТАММОВ ДЛЯ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СОИ ОТ ФУЗАРИОЗА
В ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ**

S. A. Rodovikov, A. A. Churakov, N. M. Popova, S. V. Khizhnyak

**SOIL MICROBIAL COMMUNITIES AS A SOURCE
OF STRAINS FOR THE BIOLOGICAL PROTECTION
OF SOYBEANS AGAINST FUSARIUM
IN THE YENISEI SIBERIA**

Аннотация. Из почвенных микробных сообществ Приенисейской Сибири выделены 18 штаммов бактерий-антагонистов, подавляющих рост возбудителей фузариоза сои. Два наиболее активных антагониста (штамм RSA-1, предварительно идентифицированный как представитель р. *Bacillus*, и штамм RSA-13, предварительно идентифицированный как представитель р. *Streptomyces*) были протестированы в качестве биологических агентов для защиты сои от фузариоза в лабораторных условиях. В отсутствие искусственного заражения штамм RSA-1 снизил распространенность фузариоза на 25 процентных пунктов (с 61,5% до 36,5%, статистическая значимость эффекта $p < 0,001$), штамм RSA-13 – на 32 процентных пункта (до 29,5%, статистическая значимость эффекта $p < 0,001$). Искусственное заражение сои фузариозом повысило распространенность заболевания до 83,5% и снизило рост проростков в 1,9 раза. При искусственном заражении фузариозом штамм RSA-1 статистически значимо ($p < 0,001$) снизил распространенность заболевания на 29 процентных пунктов и статистически значимо ($p < 0,001$) уменьшил ингибирующее влияние инфекции на рост проростков. Штамм RSA-13 не повлиял на распространенность заболевания, однако статистически значимо ($p < 0,001$) снизил ингибирующее влияние инфекции на рост проростков.

Ключевые слова: соя; *Glycine max* (L.) Merr.; фузариоз; *Fusarium* sp.; Приенисейская Сибирь; биологическая защита

Abstract. Eighteen strains of bacterial antagonists inhibiting growth of *Fusarium* pathogens of soybean were isolated from soil microbial communities of the Yenisei Siberia. The two most active antagonists (RSA-1 strain, preliminary identified as *Bacillus* sp., and RSA-13 strain, preliminary identified as *Streptomyces* sp.) were tested as biological agents to protect soybeans from *Fusarium* infections *in vitro*. In the absence of artificial infection, the RSA-1 strain reduced the *Fusarium* incidence by 25 percentage points (from 61.5% to 36.5%, the statistical significance of the effect was $p < 0.001$), and the RSA-13 strain reduced the *Fusarium* incidence by 32 percentage points (to 29.5%, the statistical significance of the effect $p < 0.001$). Artificial infection of soybean with *Fusarium* increased the disease incidence up to 83.5% and reduced the length of seedlings by 1.9 times. In case of artificial infection with *Fusarium*, the RSA-1 strain statistically significantly ($p < 0.001$) reduced the incidence of the disease by 29 percentage points and statistically significantly ($p < 0.001$) reduced the inhibitory effect of the infection on seedling growth. Strain RSA-13 did not affect the incidence of the disease, however, statistically significantly ($p < 0.001$) reduced the inhibitory effect of infection on the growth of seedlings.

Key words: soybean; *Glycine max* (L.) Merr.; *Fusarium* diseases; *Fusarium* sp.; Yenisei Siberia; biological control.

Сведения об авторах: Родовиков Сергей Александрович, ORCID: 0000-0002-4814-6493, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия, rsa12@mail.ru; Чураков Андрей Андреевич, ORCID: 0000-0002-3150-5541, канд. с.-х. наук, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия, andchurakov@gmail.com; Попова Наталья Михайловна, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия, nmpopova@yandex.ru; Хижняк Сергей Витальевич, ORCID: 0000-0003-2583-8857, д-р биол. наук, Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия, skhizhnyak@yandex.ru.

About the authors: Rodovikov Sergey Aleksandrovich, ORCID: 0000-0002-4814-6493, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, rsa12@mail.ru; Churakov Andrey Andreevich, ORCID: 0000-0002-3150-5541, Ph.D., Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, andchurakov@gmail.com; Popova Natalya Mikhailovna, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, nmpopova@yandex.ru; Khizhnyak Sergey Vitalievich, ORCID: 0000-0003-2583-8857, Dr. habil., Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, skhizhnyak@yandex.ru.

В мировом сельском хозяйстве соя культурная (*Glycine max* (L.) Merr.) является самой распространенной белково-масличной культурой. Россия по производству соевых бобов занимает 9-е место в мире, а валовый сбор по стране с 1990 по 2018 гг. увеличился на 461% [13; 17; 20]. В последние годы рост посевных площадей под этой культурой наблюдается и в Сибири. Так, только за период 2016–2017 гг. в Новосибирской области рост посевных площадей под соей увеличился

более чем в 7 раз, в Красноярском крае – в 2,7 раза [9]. В 2018 и 2019 г. тенденция к росту площади посева сои сохранилась. Значительный ущерб посевам сои наносят фитопатогенные микроорганизмы, в первую очередь – возбудители грибных болезней [16; 20; 22]. По разным оценкам, потери урожая сои от болезней могут достигать 20–50% [1; 15; 20]. В условиях Дальневосточного региона и лесостепи Западной Сибири наиболее вредоносными фитопатогенами являются представители р. *Fusarium*, вызывающие корневые гнили и фузариозный вилт [2; 4]. По результатам наших исследований, среди возбудителей болезней сои в Красноярском крае также преобладают виды р. *Fusarium*, распространенность которых в ряде случаев достигает 100%. Разнообразие видового состава рода *Fusarium* затрудняет поиск источников устойчивости к этому фитопатогену [4; 5]. В этой связи наиболее эффективным способом защиты посевов сои от фузариоза и других грибных болезней является предпосевная обработка семян фунгицидами [15; 18]. Неуклонный рост химической нагрузки на агроценозы и способность вредных организмов вырабатывать резистентность к массово применяемым пестицидам актуализировали вопрос биологизации защиты растений сои от болезней путем замены химических препаратов на биопрепараты, создаваемые на основе микроорганизмов, проявляющих антагонизм в отношении возбудителей болезней [1; 3; 5; 8; 10; 21]. Мировая практика показывает, что высокая эффективность биопрепаратов может быть достигнута только при использовании в их составе штаммов, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям [12; 14; 19; 23; 24]. В этой связи нами была проведена оценка перспектив защиты сои от грибных болезней в Приенисейской Сибири на основе бактерий, выделенных из автохтонных микробных сообществ.

Материалы и методы исследования

Для выделения бактерий использовали образцы почвы из-под сои и пшеницы, отобранные в ООО «Учебно-опытное хозяйство “Миндерлинское”» (Красноярский край, Сухобузимский район). Выделение проводили методом рассева на агаризованную питательную среду №1 ГРМ производства ФБУН ГНЦ ПМБ (панкреатический гидролизат рыбной муки – 15,0 г/л, панкреатический гидролизат казеина – 10,0 г/л, дрожжевой экстракт – 2,0 г/л, натрия хлорид – 3,5 г/л, глюкоза – 1,0 г/л, агар – 10,0 г/л), дополненной агаром до 20 г/л. Проверку антибиотической активности выделенных бактериальных изолятов в отношении грибов р. *Fusarium* проводили чашечным методом на питательной среде № 2 ГРМ (Сабура) производства ФБУН ГНЦ ПМБ (панкреатический гидролизат рыбной муки – 10,0 г/л, панкреатический гидролизат казеина – 10,0 г/л, дрожжевой экстракт – 2,0 г/л, натрия фосфат однозамещенный – 2,0 г/л, глюкоза – 40,0 г/л, агар – 10,0 г/л), разведенной в 2 раза и дополненной агаром до 20 г/л. Предварительные исследования показали, что такая среда хорошо поддерживает как рост грибов р. *Fusarium*, так и рост выделенных изолятов почвенных бактерий. Выявление штаммов-антагонистов проводили по наличию зоны подавления роста тест-культуры вблизи бактериальных колоний. Дополнительную количественную проверку антагонизма проводили по подавлению прорастания конидий тест-культур в растворе 1%-ной глюкозы в присутствии бактерий-антагонистов [11] (рис. 1).

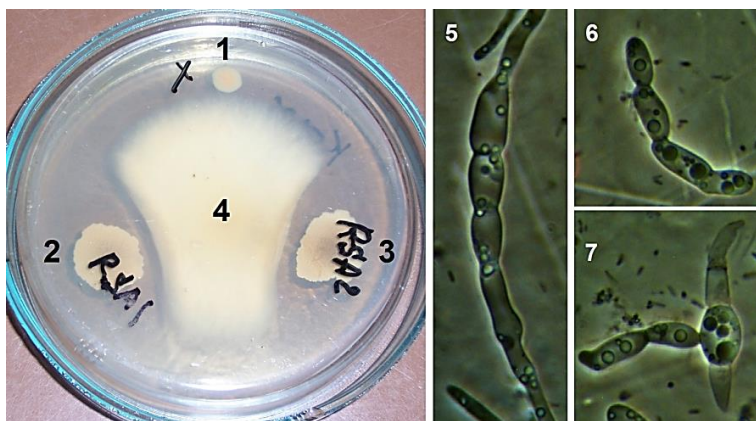


Рис. 1. Проверка антагонизма выделенных бактериальных изолятов в отношении *Fusarium* spp.:
1, 2, 3 – бактериальные изоляты, 4 – тест-культура *Fusarium*, 5 – нормальное прорастание конидии в отсутствии бактерий-антагонистов после 24 часов инкубирования в 1%-ном растворе глюкозы,
6, 7 – ингибирование прорастания конидий в присутствии бактерий-антагонистов после 24 часов инкубирования в 1%-ном растворе глюкозы (на примере штамма RSA-1)

Тест-культурами для проверки антибиотической активности бактериальных штаммов служили 4 морфологически различающихся изолята *Fusarium* sp., выделенные из пораженных фузариозом растений сои.

Микроскопические исследования и микрофотосъемку проводили с помощью микроскопа МИКМЕД-6 вариант 7, оснащенного фазово-контрастным устройством и цифровой камерой DCM-130E. Измерения бактериальных клеток проводили по микрофотографиям с помощью программы ImageJ, для пересчета пикселей в микрометры использовали объект-микрометр проходящего света ОМП ГОСТ 7513-55 производства ОАО «ЛОМО».

Лабораторную эффективность наиболее активных штаммов-антагонистов (RSA-1 и RSA-13) в подавлении развития фузариоза в сравнении с химическим протравителем проверяли методом рулонных культур на сое сорта Заряница (оригинаторы – ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»; регион допуска – Восточно-Сибирский). В эксперименте использовали семена, полученные в ООО «Учебно-опытное хозяйство “Миндерлинское”» и характеризующиеся высоким (свыше 60%) уровнем естественной зараженности фузариозом. Схема эксперимента включала следующие варианты: контроль (семена без обработки); бактериализация штаммом RSA-1; бактериализация штаммом RSA-13; обработка химическим протравителем; искусственное заражение возбудителями фузариоза; искусственное заражение возбудителями фузариоза + бактериализация штаммом RSA-1; искусственное заражение возбудителями фузариоза + бактериализация штаммом RSA-13; искусственное заражение возбудителями фузариоза + обработка химическим протравителем. В каждом варианте было 4 повторности, по 50 семян в повторности. В качестве химического протравителя использовали препарат «Оплот» (действующие вещества: дифеноконазол – 90 г/л, тебуконазол – 45 г/л) производства АО Фирма «Август», обработку семян проводили в соответствии с инструкцией производителя.

Бактеризацию проводили водными суспензиями штаммов-антагонистов с титром 10^8 клеток на мл из расчета 1 мл суспензии на 100 г семян, что соответствует стандартному расходу 10 л на тонну при обработке семян в полевых условиях. Искусственное заражение проводили суспензией конидий, полученной смывом с 10-суточных колоний 4 изолятов *Fusarium* sp., использованных для выявления штаммов-антагонистов, титр 10^6 конидий на мл. Учет распространенности фузариоза проводили в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями» [7]. Распространенность фузариоза вычисляли как выраженное в процентах отношение растений с признаками заболевания к общему числу растений. Кроме распространенности фузариоза учитывали длину надземной части проростков сои.

Математическую обработку результатов проводили с помощью Пакета анализа MS Excel 2007 и StatSoft STATISTICA 6.0. В качестве тестов при анализе распространенности заболевания использовали хи-квадрат (в случае множественного сравнения вариантов) и точный F-тест для таблиц 2×2 (в случае парного сравнения вариантов). В качестве тестов при сравнении длины проростков использовали двухфакторный дисперсионный анализ, где в качестве факторов выступали «наличие искусственного заражения» и «бактеризация», а при парном сравнении вариантов – двухвыборочный t-тест.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований было выделено 18 штаммов бактерий-антагонистов, проявляющих антибиотическую активность в отношении всех четырех изолятов р. *Fusarium*, выделенных из пораженных фузариозом проростков сои. Наибольшая антибиотическая активность отмечена у штаммов RSA-1 и RSA-13.

Штамм RSA-1 представлен грамположительными аэробными подвижными спорообразующими палочками. Спора – овальная, $1,5-2,4 \times 0,7-1,3$ мкм, расположение в клетке – центральное или субтерминальное. Прорастание споры – латеральное. Молодые клетки – до 24 мкм длиной, клетки в зрелой культуре – $4,2-9,6 \times 1,1-1,3$ мкм (рис. 2). Штамм предварительно идентифицирован как представитель р. *Bacillus*.

Штамм RSA-13 представлен грамположительными аэробными актинобактериями. Подвижные стадии не выявлены. Споры – овальные, $1,4-1,8 \times 0,9-1,2$ мкм, формируются в закрученных спорангиях. Мицелий хорошо развитый, ветвящийся, толщина гиф варьирует от 0,8 до 1,7 мкм (рис. 3). Штамм предварительно идентифицирован как представитель р. *Streptomyces*.

В эксперименте с рулонными культурами в вариантах без искусственного заражения грибами р. *Fusarium* оба штамма статистически значимо ($p < 0,001$) снизили распространенность фузариоза с 61,5% в контроле до 36,5% (штамм RSA-1) и до 29,5% (штамм RSA-13).

Искусственное заражение статистически значимо ($p < 0,001$) повысило распространенность фузариоза во всех вариантах эксперимента (в среднем на 27,9 процентных пунктов). В варианте с бактеризацией штаммом RSA-1 распространенность фузариоза по-прежнему была статистически значимо ($p < 0,001$) ниже, чем в варианте без обработки (54,5% против 83,5%). В варианте с бактеризацией штаммом RSA-13 распространенность фузариоза (82,5%) не отличалась от варианта без обработки.

Наибольший эффект в снижении распространенности фузариоза как без искусственного заражения, так и при искусственном заражении семян оказал протравитель «Оплот» (распространенность фузариоза 22,0% и 40,5% соответственно) (рис. 4).

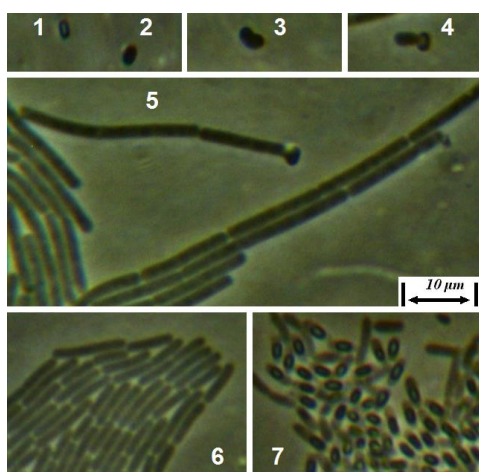


Рис. 2. Морфология штамма RSA-1:

1 – спора, 2 – набухшая спора, 3, 4 – прорастание споры, 5 – удлиненные клетки в молодой (17-часовой) культуре непосредственно после прорастания спор, 6 – клетки в зрелой (48-часовой) культуре, 7 – спорующие клетки

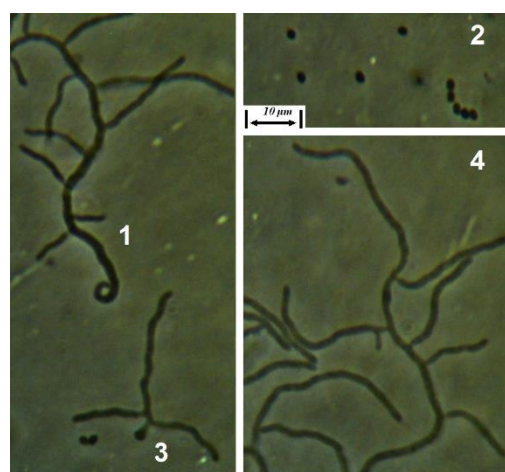


Рис. 3. Морфология штамма RSA-13:

1 – формирующийся спорангий, 2 – споры, 3 – прорастание споры, 4 – мицелий

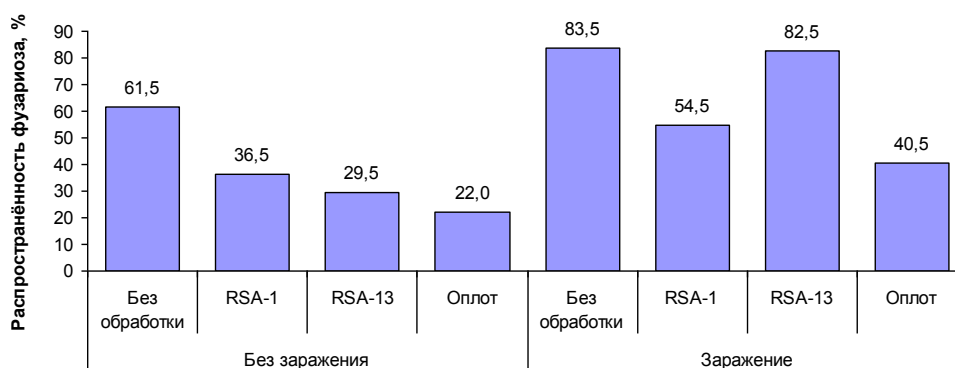


Рис. 4. Распространённость фузариоза проростков сои в разных вариантах эксперимента

Однако «Оплот» оказал ярко выраженное и в высшей степени значимое ($p < 0,001$) угнетающее действие на рост проростков сои, как в отсутствие заражения (средняя длина проростков $3,60 \pm 0,17$ см против $17,40 \pm 0,88$ см в контроле), так на фоне искусственного заражения (средняя длина проростков $3,38 \pm 0,16$ см против $9,32 \pm 0,97$ см в варианте без обработки) (рис. 5, 6).

В то же время бактеризация обоими штаммами оказала стимулирующее влияние на рост проростков, особенно ярко проявившееся на фоне искусственного заражения. Так, в варианте с заражением средняя длина надземной части проростков при бактеризации штаммом RSA-1 соста-

вила $13,03 \pm 1,13$ см, при бактеризации штаммом RSA-13 – $13,43 \pm 1,11$ см, что в 1,4 раза превышает среднюю длину проростков в варианте без обработки.

При отсутствии искусственного заражения стимулирующий эффект бактеризации был не столь выражен – при бактеризации штаммом RSA-1 средняя длина проростков составила $17,74 \pm 0,88$ см, при бактеризации штаммом RSA-13 – $19,15 \pm 0,91$ см, что превышает среднюю длину проростков в варианте без обработки, соответственно, в 1,02 и 1,10 раза.

Дисперсионный анализ подтвердил угнетающее действие искусственного заражения грибами р. *Fusarium* на рост проростков (статистическая значимость $p < 0,001$), стимулирующее действие бактеризации на рост проростков (статистическая значимость $p < 0,001$), а также эффект взаимодействия факторов «заражение» и «бактеризация» (статистическая значимость $p < 0,01$). Значимость различий между вариантами по тесту Дункана представлена в таблице 1.

Можно предположить, что стимулирующий эффект бактеризации в значительной степени обусловлен подавлением развития фузариоза. Действительно, между распространенностью фузариоза и длиной проростков отмечена статистически значимая ($p < 0,05$) отрицательная корреляция ($r = -0,823$). Регрессионный анализ с использованием данных по отдельным повторностям показал, что снижение распространенности фузариоза на 1 процентный пункт увеличивает среднюю длину проростка на 0,2 см.

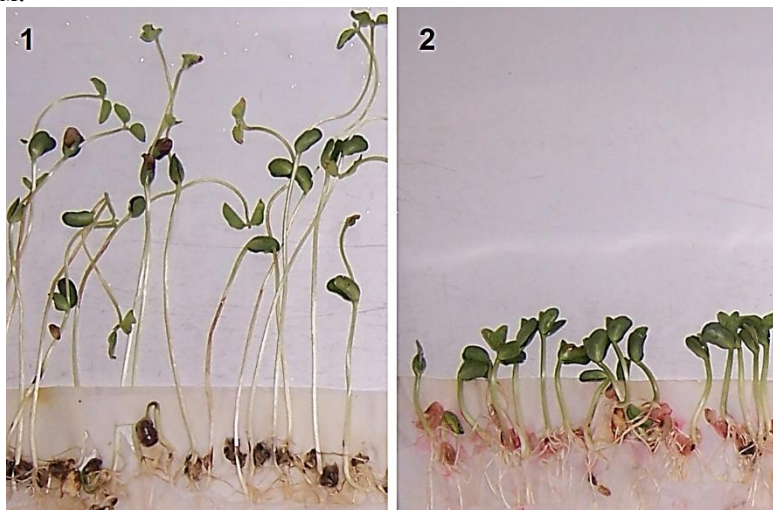
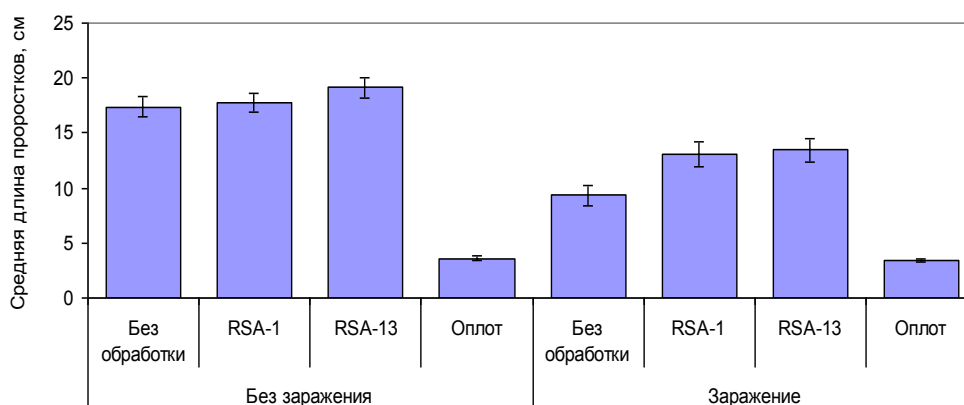


Рис. 5. Угнетающее действие протравителя «Оплот» на проростки сои на примере варианта без заражения: 1 – контроль, 2 – обработка «Оплотом»



Примечание: Бары на диаграммах означают 95%-е доверительные интервалы для среднего

Рис. 6. Средняя длина надземной части проростков сои в разных вариантах

Таблица 1

**Статистическая значимость (р) различий по длине проростков
между вариантами эксперимента в рулонной культуре согласно тесту Дункана**

Искусственное заражение	Бактеризация	Искусственное заражение					
		есть			нет		
		RSA-1	RSA-13	нет	RSA-1	RSA-13	нет
есть	RSA-1		нет	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	RSA-13	нет		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	нет	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001
нет	RSA-1	<0,001	<0,001	<0,001		<0,05	нет
	RSA-13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05		<0,05
	нет	<0,001	<0,001	<0,001	нет	<0,05	

В целом можно констатировать, что выделенные штаммы-антагонисты в лабораторных испытаниях продемонстрировали сопоставимую с химическим протравителем эффективность в защите сои от фузариоза, и, в отличие от протравителя, не оказали негативного влияния на рост растений. Таким образом, нами продемонстрирована перспективность использования почвенных микробных сообществ Приенисейской Сибири для защиты сои от фузариоза.

Работа выполнена при финансовой поддержке научно-исследовательских работ, выполняемых высшими учебными заведениями, подведомственными Министерству сельского хозяйства России, финансовая поддержка – за счет средств федерального бюджета в 2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В. Ф., Махонин В. Л. О биологической защите агрофитоценозов сои от вредных организмов // Масличные культуры. 2014. Вып. 1 (157-158). С. 152–164.
2. Горобей И. М., Ашмарина Л. Ф., Коняева Н. М. Фузариозы зернобобовых культур в лесостепной зоне Западной Сибири // Защита и карантин растений. 2011. № 2. С. 14–16.
3. Жаркова С. В., Маньлова О. В. Эффективность биофунгицида Метабактерин, СП на посевах сои *Glycine max* (L.) Merrill // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 12 (170). С. 5–10.
4. Заостровных В. И., Кадуров А. А., Дубовицкая Л. К., Рязанова О. А. Мониторинг видового состава болезней сои в различных зонах соеосеяния // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 4 (48). С. 51–67. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-14081>
5. Курилова Д. А. Вредоносность фузариоза сои в зависимости от степени поражения растений // Масличные культуры. 2010. № 2(144-145). С. 84–89.
6. Маслиенко Л. В., Курилова Д. А., Шипиевская Е. Ю., Асатурова А. М. Первичный скрининг штаммов грибов и бактерий антагонистов к возбудителю фузариоза сои // Масличные культуры. 2009. № 1(140). С. 114–119.
7. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями». Принят 21 октября 1993 г.
8. Семькин В. А., Пигорев И. Я., Тарасов А. А., Глинушкин А. П., Плыгун С. А., Сычева И. И. Микробные препараты и регулятор роста как средства биологизации земледелия // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. Т. 11. № 59. С. 3–9. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.01>
9. Чураков А. А. Направления селекции сои в Красноярском крае // Зернобобовые культуры, развивающееся направление в России: Второй Международный форум (Омск, 17-20 июля 2018 г.). Омск: Полиграфический центр КАН, 2018. С. 175-180.
10. Штерншис М. В., Беляев А. А., Цветкова В. П., Шпатова Т. В., Лемяк А. А., Бахвалов С. А. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений. Новосибирск: изд-во СО РАН. 2016. 284 с.
11. Хижняк С. В., Пучкова Е. П., Петрушкина С. А. Экспресс-метод выявления штаммов-антагонистов для биологической защиты растений от фитопатогенных грибов // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: Материалы Национальной научно-практической конференции. 2019. Ч. 2. С. 590–594.
12. Amaria W., Soesanthy F., Ferry Y. The Effectiveness of Biofungicide *Trichoderma* sp. with Three Kinds of Carrier on White Root Disease *Rigidoporus microporus* // Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar. 2016. V. 3. № 1. P. 37–44. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v3n1.2016.p37-44>
13. Anderson E. J., Ali M. L., Beavis W. D., Chen P., Clemente T. E., Diers B. W., Nelson R. L. et al. Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Breeding: History, Improvement, Production and Future Opportunities // Advances in

Plant Breeding Strategies: Legumes. Springer, Cham, 2019. P. 431–516. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_12

14. Butu M., Stef R., Grozea I., Corneanu M., Butnariu M. Biopesticides: Clean and Viable Technology for Healthy Environment // Bioremediation and Biotechnology. 2020. P. 107–151. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_6

15. Delaney M., ArchMiller A. A., Delaney D. P., Wilson A. E., Sikora E. J. Effectiveness of fungicide on soybean rust in the southeastern united states: a meta-analysis // Sustainability. 2018. V. 10. № 6. P. 1784. <https://doi.org/10.3390/su10061784>

16. Dean R., Van Kan J. A., Pretorius Z. A., Hammond-Kosack K. E., Di Pietro A., Spanu P. D., ... Foster G. D. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology // Molecular plant pathology. 2012. V. 13. № 4. P. 414–430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>

17. Food and Agricultural organization. Food and agricultural data. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

18. Grichar, W. J. Soybean (*Glycine max* L.) Response to Fungicides in the Absence of Disease Pressure // International Journal of Agronomy. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/561370>

19. Haddad P. E., Leite L. G., Lucon C. M. M., Harakava R. Selection of *Trichoderma* spp. strains for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean // Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2017. V. 52. № 12. P. 1140–1148. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200002>

20. Hartman G. L., West E. D., Herman T. K. Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests // Food Security. 2011. V. 3. № 1. P. 5–17. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>

21. O'Brien P. A. Biological control of plant diseases // Australasian Plant Pathology. 2017. V. 46. № 4. P. 293–304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>

22. Savary S., Willocquet L., Pethybridge S. J., Esker P., McRoberts N., Nelson A. The global burden of pathogens and pests on major food crops // Nature ecology & evolution. 2019. V. 3. № 3. P. 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

23. Thakkar A., Saraf M. Development of microbial consortia as a biocontrol agent for effective management of fungal diseases in *Glycine max* L // Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2015. V. 48. № 6. P. 459–474. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.893638>

24. Vasebi Y., Safaie N., Alizadeh A. Biological control of soybean charcoal root rot disease using bacterial and fungal antagonists In Vitro and greenhouse condition // Journal of Crop Protection. 2013. V. 2. № 2. P. 139–150. <http://journals.modares.ac.ir/article-3-9001-en.html>

REFERENCES

1. Baranov, V. F., & Mahonin, V. L. (2014). About the biological protection of soybean agrophytocenoses against noxious organisms. *Oil crops*, (1). 152-164. (In Russian).

2. Gorobei, I. M., Ashmarina, L. F., & Konyaeva, N. M. (2011). Fusarium wilt diseases in the forest-steppe zone of West Siberia. *Protection and quarantine of plants*, (2). P. 14-16. (In Russian).

3. Zharkova, S. V., & Manylova, O. V. (2018). The effect of Biological fungicide Metabakterin, WP, in Soybean Crops (*Glycine max* (L.) Merrill). Bulletin of the Altai State Agrarian University, (12 (170)). 5-10. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-14081>

4. Zastrovnykh, V. I., Kadurov, A. A., Dubovitskaya, L. K., & Ryazanova, O. A. (2018). Monitoring of the species composition of soybean diseases in various zones of soybean production. *Dalnevostochny agricultural bulletin*, (4 (48)). 51-67. (In Russian).

5. Kurilova, D. A. (2010). Harmfulness of Fusarium species on soybean depending on a degree of plants affection. *Oil Crops*, (2(144-145)). 84-89. (In Russian).

6. Maslienko, L. V., Kurilova, D. A., Shipievskaya, E. Yu., & Asaturova, A. M. (2009). Primary screening of strains of fungi and bacteria antagonists to the causative agent of soy fusariosis. *Oil Crops*, (1 (140)). 114-119. (In Russian).

7. Mezghosudarstvennyi standart GOST 12044-93 “Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya zarazhennosti boleznymi”. Prinyat 21 oktyabrya 1993 g. (In Russian).

8. Semykin, V. A., Pigorev, I. Ya., Tarasov, A. A., Glinushkin, A. P., Plygun, S. A., & Sycheva, I. I. (2016). Microbial preparations and growth regulator as a means of biologization of agriculture. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, (11(59)). 3-9. (In Russian). <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-11.01>

9. Churakov, A. A. (2018). Napravleniya seleksii soi v Krasnoyarskom krae. In *Zernobobovye kul'tury, razvivayushcheesya napravlenie v Rossii: Vtoroi Mezhdunarodnyi forum (Omsk, 17-20 iyulya 2018 g.)*. Omsk, 175-180. (In Russian).

10. Sternshis, M. V., Belyaev, A. A., Tsvetkova, V. P., Shpatova, T. V., Lelyak, A. A., & Bakhvalov, S. A. (2016). Biological products based on bacteria of the genus *Bacillus* for plant health management. Novosibirsk: publishing house of SB RAS. 284. (In Russian).

11. Khizhnyak, S. V., Puchkova, E. P., & Petrushkina, S. A. (2019). Ekspress-metod vyyavleniya shtammov-antagonistov dlya biologicheskoi zashchity rastenii ot fitopatogennykh gribov. In *Prioritetnye napravleniya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossii: Materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2. 590-594. (In Russian).

12. Amaria, W., Soesanthy, F., & Ferry, Y. (2016). The Effectiveness of Biofungicide *Trichoderma* sp. with Three Kinds of Carrier on White Root Disease *Rigidoporus microporus*. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 3(1), 37-44. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v3n1.2016.p37-44>

13. Anderson, E. J., Ali, M. L., Beavis, W. D., Chen, P., Clemente, T. E., Diers, B. W., ... & Nelson, R. L. (2019). Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Breeding: History, Improvement, Production and Future Opportunities. In *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*, 431-516. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_12

14. Butu, M., Stef, R., Grozea, I., Corneanu, M., & Butnariu, M. (2020). Biopesticides: Clean and Viable Technology for Healthy Environment. In *Bioremediation and Biotechnology*, 107-151. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_6

15. Delaney, M., ArchMiller, A. A., Delaney, D. P., Wilson, A. E., & Sikora, E. J. (2018). Effectiveness of fungicide on soybean rust in the southeastern united states: a meta-analysis. *Sustainability*, 10(6), 1784. <https://doi.org/10.3390/su10061784>

16. Dean, R., Van Kan, J. A., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu, P. D., ... & Foster, G. D. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 13(4), 414-430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>

17. Food and Agricultural organization. Food and agricultural data. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

18. Grichar, W. J. (2013). Soybean (*Glycine max* L.) response to fungicides in the absence of disease pressure. *International Journal of Agronomy*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/561370>

19. Haddad, P. E., Leite, L. G., Lucon, C. M. M., & Harakava, R. (2017). Selection of *Trichoderma* spp. strains for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(12), 1140-1148. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200002>

20. Hartman, G. L., West, E. D., & Herman, T. K. (2011). Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3(1), 5-17. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>

21. O'Brien, P. A. (2017). Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, 46(4), 293-304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>

22. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

23. Thakkar, A., & Saraf, M. (2015). Development of microbial consortia as a biocontrol agent for effective management of fungal diseases in *Glycine max* L. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(6), 459-474. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.893638>

24. Vasebi, Y., Safaie, N., & Alizadeh, A. (2013). Biological control of soybean charcoal root rot disease using bacterial and fungal antagonists In Vitro and greenhouse condition. *Journal of Crop Protection*, 2(2), 139-150. <http://journals.modares.ac.ir/article-3-9001-en.html>

Родовиков С. А., Чураков А. А., Попова Н. М., Хижняк С. В. Почвенные микробные сообщества как источник штаммов для биологической защиты сои от фузариоза в Приенисейской Сибири // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 4–11. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/01>

Rodovikov, S. A., Churakov, A. A., Popova N. M., & Khizhnyak S. V. (2020). Soil microbial communities as a source of strains for the biological protection of soybeans against fusarium in the Yenisei Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 4–11. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/01>

дата поступления: 03 марта 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Родовиков С.А., Чураков А.А., Попова Н.М., Хижняк С.В.

Э. В. Марамохин, М. В. Сиротина, Д. Н. Зонтиков

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИЦЕЛИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ФИТОПАТОГЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ В УСЛОВИЯХ IN VITRO

E. Maramokhin, M. Sirotina, D. Zontikov

CULTIVATION OF MYCELIUM AND THE STUDY OF THE PHYTOPATHOGENICITY OF CERTAIN XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES UNDER IN VITRO CONDITIONS

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы культивирования мицелия некоторых хозяйственно значимых ксилотрофных базидиомицетов с использованием методов клонального микроразмножения. Для культивирования применяются синтетические питательные среды Чапека, Мурасиге-Скуга, проводится сравнительный анализ роста мицелия на данных средах. Особое внимание уделено изучению фитопатогенных свойств мицелия, полученного *in vitro*. Изучаются два варианта фитопатогенности: культуральная, которая связана с характером и интенсивностью роста мицелия на питательной среде, и фитопатогенность для анатомических структур при совместном культивировании мицелия ксилотрофных базидиомицетов с частями побегов от *B. pendula* и *P. tremula*. Показана значительная вариативность, как по экспансивности роста мицелия, так и проявлению степени фитопатогенности у разных видов ксилотрофов. Также проведена микроскопия полученного *in vitro* мицелия с целью более достоверной идентификации изучаемого организма и изучения его анатомо-морфологических особенностей. В целом данное исследование позволит лучше понимать экологию данных организмов в естественных условиях, проводить моделирование взаимодействия паразит-хозяин, позволит более быстро и точно проводить видовое определение фитопатогена, что можно использовать при проведении санитарно-защитных и других хозяйственных мероприятий в лесной отрасли.

Ключевые слова: ксилотрофные базидиомицеты; культивирование *in vitro*; среда Чапека; среда Мурасиге-Скуга (MS); *Fomes fomentarius* (L.) Fr.; *Phellinus igniarius* (L.) Quel.; *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.; *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil.; фитопатогенность.

Сведения об авторах: Марамохин Эдуард Владимирович, ORCID: 0000-0002-1963-5845, Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия, maramokhin91@mail.ru; Сиротина Марина Валерьевна, ORCID: 0000-0002-7840-8861, д-р биол. наук, Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия, mvsirotna@gmail.com; Зонтиков Дмитрий Николаевич, ORCID: 0000-0002-6668-4877, канд. с.-х. наук, Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия, zontikovd@mail.ru.

About the authors: Maramokhin Eduard Vladimirovich, ORCID: 0000-0002-1963-5845; Kostroma State University, Kostroma, Russia, maramokhin91@mail.ru; Sirotina Marina Valerievna, ORCID: 0000-0002-7840-8861, Dr.habil., Kostroma State University, Kostroma, Russia, mvsirotna@gmail.com; Zontikov Dmitry Nikolaevich, ORCID: 0000-0002-6668-4877, Ph.D., Kostroma State University, Kostroma, Russia, zontikovd@mail.ru.

Введение

Ксилотрофные базидиомицеты играют важную роль, поскольку являются фитопатогенами хозяйственно ценных лесных культур [2; 12]. Деструкция древесины, которую вызывают эти организмы, приводит к снижению ее качества, что отрицательно сказывается на объеме лесозаготовок [6]. При разрушении древесины наблюдаются изменения как ее физических, так и химических

Abstract. The paper discusses the cultivation of the mycelium of some economically significant xylophilic basidiomycetes using methods of clonal micropropagation. For cultivation, Chapek, Murashige-Skoog synthetic media are used, a comparative analysis of mycelium growth in these media is carried out. Particular attention is paid to the study of the phytopathogenic properties of mycelium obtained *in vitro*. Two variants of phytopathogenicity are being studied: the cultural one, which is associated with the nature and intensity of mycelium growth on a nutrient medium, and phytopathogenicity for anatomical structures during the joint cultivation of xylophilic basidiomycetes mycelium with parts of shoots from *B. pendula* and *P. tremula*. Significant variability was shown both in the expansivity of mycelial growth and in the manifestation of the degree of phytopathogenicity in different types of xylophilic fungi. Microscopy of the *in vitro* mycelium obtained was also carried out in order to more accurately identify the organism under study and to study the anatomical and morphological features. In general, this study will make it possible to better understand the ecology of these organisms *in vivo*, to model the interaction of the host parasite, and to more quickly and accurately conduct a specific determination of the phytopathogen, which can be used when conducting sanitary-protective and other economic activities in the forest industry.

Key words: xylophilic basidiomycetes; *in vitro* cultivation; Chapek medium; Murashige-Skoog medium (MS); *Fomes fomentarius* (L.) Fr.; *Phellinus igniarius* (L.) Quel.; *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.; *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil.; Phytopathogenicity.

свойств, что в свою очередь приводит к серьезным экономическим потерям [3; 10]. Поэтому требуется серьезный подход в изучении особенностей ростовых процессов и фитопатогенности данной группы базидиомицетов, что позволяют сделать методы, применяемые при культивировании в условиях *in vitro*.

Развитие биотехнологии как прикладной отрасли биологии позволяет выращивать мицелий ксилотрофных базидиомицетов в чистой культуре. Для этой группы организмов отмечено достаточно легкое выделение чистой культуры из природных объектов, быстрый рост на синтетических питательных средах, они не требовательны к богатству элементарного состава питательных сред [4]. Кроме того, методы, применяемые в биотехнологии, позволяют изучить фитопатогенность как экологическое явление взаимодействия ксилотрофных базидиомицетов с организмом-хозяином, а именно мелколиственными хозяйственно ценными породами деревьев.

Цель работы – изучить особенности культивирования и фитопатогенность мицелия некоторых ксилотрофных базидиомицетов на разных синтетических питательных средах.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования нами были выбраны следующие ксилотрофные базидиомицеты: *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quel., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil. [1]. Для этой группы организмов характерны макроскопические плодовые тела, которые примыкают одной из сторон к дереву с плотной консистенцией ткани. Для изучения особенностей ростовых процессов мицелия ксилотрофов были использованы методы, которые широко используются в биотехнологии растительных объектов. Плодовые тела были отобраны в березняке и осиннике Костромского, Красносельского и Кологривского районов Костромской области.

Для изучения была отобрана центральная мицелиальная часть у молодых плодовых тел *F. fomentarius*, *P. igniarius*, *P. betulinus*, *I. obliquus* [8; 13]. Проведена дробная стерилизация отобранного материала при следующем режиме: 1) погружение в 70%-ный этанол с экспозицией 1 мин; 2) выдерживание в 3%-ном гипохлорите натрия в течение 15 мин; 3) промывание материала в стерильной дистиллированной воде; 4) экспозиция в стерильной дистиллированной воде в течение 5 мин для окончательного удаления стерилизующего агента. Затем производилась инокуляция мицелия в условиях ламинарного укрытия [7].

Культивирование мицелия ксилотрофных базидиомицетов проводили на специализированной для микобионтов питательной среде Чапека и на среде Мурасиге-Скуга (MS), которая применяется для культивирования растительных объектов (табл. 1) [11; 14].

Таблица 1

Состав питательных сред для культивирования ксилотрофных базидиомицетов

Компоненты среды	Концентрация веществ, мг/л		Компоненты среды	Концентрация веществ, мг/л	
	MS	Чапека		MS	Чапека
NH ₄ NO ₃	1 650	–	FeSO ₄ ·7H ₂ O	27,8	–
KNO ₃	1 900	–	Na ₂ ЭДТА·2H ₂ O	37,2	–
KH ₂ PO ₄	170	1 000	Инозитол	100	–
CaCl ₂ ·2H ₂ O	340	–	Кальция пантотенат	0,5	–
MnSO ₄ ·4H ₂ O	22,3	–	Никотиновая кислота	0,5	–
MgSO ₄ ·H ₂ O	370	500	Тиамин	0,5	1
H ₃ BO ₃	6,2	–	Пиридоксин	0,5	–
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8,6	0,5	Глицин	2	–
KI	0,83	–	Сахароза	25 000	6 000
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,025	–	Мальтоза	–	4 000
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,25	–	Агар «Биолот»	5 000	6 000
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,025	–	pH	5,7	5,7

Также использовались питательные среды MS и Чапека с частями стерильной древесины *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L. для оценки фитопатогенности мицелия [5]. Древесину стерилизовали в сухожаровом шкафу при 160°C 2,5 ч. Культивирование осуществляли на световых стеллажах при интенсивности освещенности 2 500 люкс и температуре 25°C [9].

Результаты культивирования проверялись на 15–20-е сутки. При этом была проведена оценка морфологии и микроскопической структуры мицелия. Стерильный мицелий ксилотрофов был изучен с использованием световой микроскопии (микроскоп «Биомед-3»), увеличение – х600 [15].

Результаты и их обсуждение

Наиболее активный рост мицелия наблюдался на питательной среде MS: мицелий от белого до почти черного цвета распространялся как по поверхности питательной среды (*P. betulinus*), так и проникал вглубь (*I. obliquus*, *F. fomentarius*, *P. igniarius*). Стоит отметить, что рост мицелия *P. betulinus* на питательной среде начался более интенсивно и в более ранние сроки, чем у других изучаемых ксилотрофов, это можно объяснить более мягкой структурой плодового тела березовой губки. При дальнейшем изучении мицелия отмечался сильный грибной запах, характерный для ксилотрофных базидиомицетов. При этом не было замечено спороношения мицелия (табл. 2). Эти признаки говорят о том, что на питательной среде отмечался именно рост мицелия ксилотрофов, что позволяет исключить контаминацию и идентифицировать культивируемые объекты. Питательная среда Чапека по многим показателям уступала среде MS. В первую очередь отмечался более медленный рост мицелия, а прирост по биомассе на 30-й день культивирования при средних значениях для всех культур также оказался менее продуктивным именно на данной питательной среде (рис. 1). Это, конечно, связано с достаточно бедным содержанием в среде Чапека макро- и микроэлементов, а также некоторых органических веществ, необходимых для развития живых организмов и, в частности, мицелия ксилотрофов. Но это также является и преимуществом при выращивании мицелия в промышленных масштабах (например, для нужд фармацевтической промышленности), так как значительно удешевляет получаемую биомассу вследствие малого расхода компонентов для питательной среды [16].

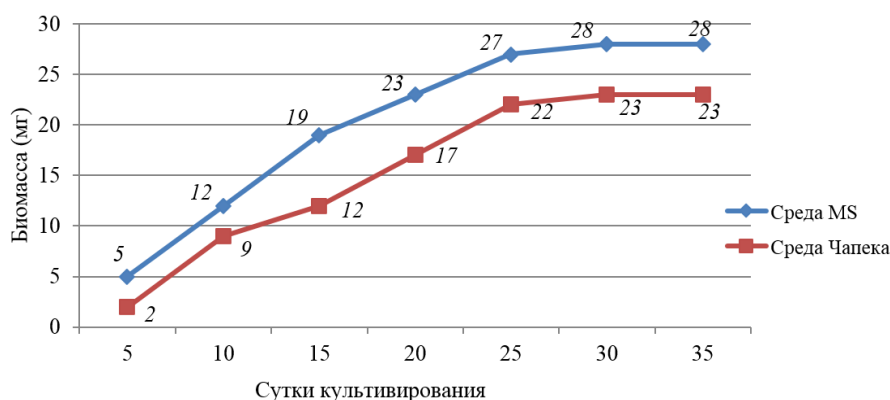


Рис. 1. Влияние типа питательной среды на прирост биомассы мицелия (среднее значение для всех культур)

Проводилась серия опытов по совместному культивированию выделенного мицелия с частями древесины деревьев, к которым данные ксилотрофы проявляли тропность. В дальнейшем с использованием микроскопии изучали морфологию мицелия и проводили оценку его прорастания в древесину. Такое исследование необходимо для определения степени фитопатогенности объекта. Оценка результатов производили через 35–40 суток. Результаты роста, морфологии и микроскопии мицелия были сведены в таблицу (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная анатомо-морфологическая характеристика мицелия разных видов ксилотрофных базидиомицетов

Оцениваемый признак	Анатомо-морфологическая характеристика мицелия
	<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull.) P.Karst., 1881
Особенности роста на питательных средах	Мицелий белого цвета распространялся исключительно по поверхности питательной среды, отмечался сильный грибной запах, характерный для данного вида. Спороношения нет
Культуральная фитопатогенность	Выраженная ксилотропность по отношению к <i>B. pendula</i> . Быстрый экспансивный рост нитей мицелия и ориентация их к древесине
Морфология мицелия	Мицелий по морфологии слабоветвящийся, септированный, имеет единичные молодые зачатки гиф. Спороношения нет

Окончание таблицы 2

Оцениваемый признак	Анатомо-морфологическая характеристика мицелия
Фитопатогенность для анатомических структур	Был выявлен рост мицелия в пробковую и коровую части стебля березы с незначительным проникновением в ксилему. Умеренно выраженная фитопатогенность
<i>Inonotus obliquus</i> (Ach. ex Pers.) Pilát (1942)	
Особенности роста на питательных средах	Мицелий темно-коричневого цвета, проникает вглубь питательной среды, характерен медленный рост. Спороношения нет
Культуральная фитопатогенность	Фитопатогенность выражена слабо, мицелий прорастает в среду медленно, ксилотропность по отношению к <i>B. pendula</i> не выявлена
Морфология мицелия	Тонкие, умеренно септированные гифы
Фитопатогенность для анатомических структур	Малопатогенный ксилотроф, за коровую часть стебля гифы гриба не проникают, разрушение древесины не отмечено
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr., 1849	
Особенности роста на питательных средах	Мицелий полиморфен от белого до почти черного цвета, гифы располагаются плотно и фрагментарно на поверхности питательной среды. Спороношения нет
Культуральная фитопатогенность	Ксилотропный рост мицелия выражен умеренно, тенденция к общей экспансии гиф гриба по поверхности питательной среды со слабым проникновением вглубь
Морфология мицелия	Мицелий слабо септирован, гифы хорошо выражены, плотно переплетены между собой, создавая при этом плотные структуры на поверхности среды
Фитопатогенность для анатомических структур	Мицелий прорастает в коровый слой и частично внедряется в ксилему
<i>Phellinus igniarius</i> (L.) Quél. (1886)	
Особенности роста на питательных средах	Мицелий бесцветен, характерна тонкая мицелиальная структура, которая активно внедряется в субстрат. Спороношения нет
Культуральная фитопатогенность	Очень высокая, мицелий локализован преимущественно на части древесины, отмечено образование примордия
Морфология мицелия	Сложная структура, мицелий слабо септирован, гифы окрашены в коричневый цвет, образуют петли и структуры с неустановленным функциональным значением
Фитопатогенность для анатомических структур	Отмечена крайняя степень патогенности, мицелий полностью разрушает все слои древесины до состояния трухи

Особое внимание следует уделить морфологии мицелия и фитопатогенности для анатомических структур, поскольку именно эти параметры во многом определяют взаимодействие ксилотрофных базидиомицетов с организмом-хозяином. Так, например, у *I. obliquus* отмечается тонкий септированный мицелий и слабое фитопатогенное влияние на структуру древесины при совместном культивировании, поэтому в природных условиях данный ксилотроф практически никогда не встречается на мертвых деревьях (рис. 2).

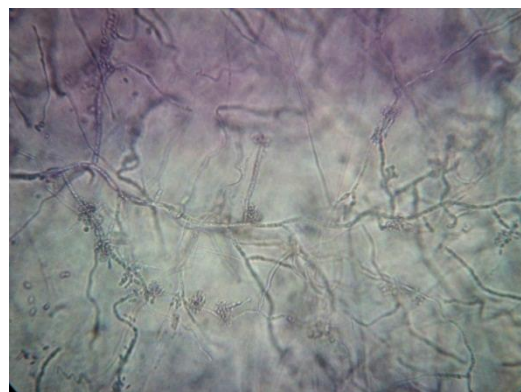


Рис. 2. Культивирование *I. obliquus* на питательной среде MS (слева), морфология мицелия *I. obliquus* при микроскопировании с увеличением $\times 600$ (справа)

Морфология мицелия *P. igniarius* отличается мощностью гиф, сложной слабо септированной структурой с петлями и неустановленными элементами, при этом данный ксилотроф отличается исключительной агрессивностью по отношению к древесине *Populus tremula* L. и при совместном культивировании вызывает не только полное ее разрушение, но и образование примордия (рис. 3).

В природе *P. igniarius* также проявляет высоко патогенные свойства и при заражении дерева приводит к развитию сердцевинной гнили и быстрой гибели дерева. Отмечается также значительное образование плодовых тел. Стоит отметить, что только при культивировании данного ксилотрофного базидиомицета в условиях *in vitro* удалось получить примордий, что говорит об агрессивном характере распространения данного фитопатогена.

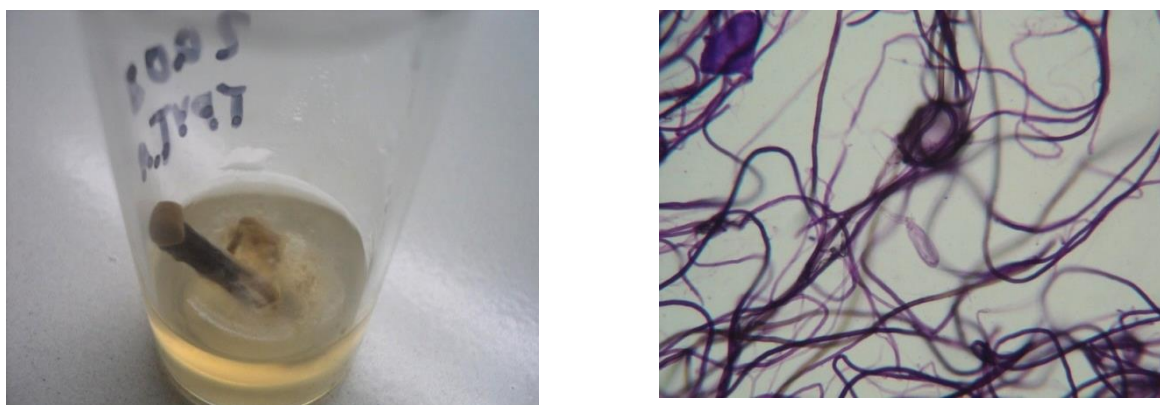


Рис. 3. Культивирование *P. igniarius* на питательной среде MS и образование примордия на части древесины *P. tremula* (слева), морфология мицелия *P. igniarius* при микроскопировании с увеличением $\times 600$ (справа)

Что касается таких ксилотрофных базидиомицетов как *P. betulinus* и *F. fomentarius*, стоит отметить их умеренную фитопатогенность по отношению к организму-хозяину, в природе эти виды предпочитают селиться на уже погибшие или сильно ослабленные мелколиственные породы и преимущественно на *Betula pendula* Roth. Что, однако, не говорит о том, что они не способны нанести ущерб лесному хозяйству.

Заключение

Используя методы, применяемые при клональном микроразмножении растений, удалось получить чистые культуры *in vitro* ксилотрофных базидиомицетов *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quél, *Piptoporus betulinus* (Bull.) P.Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát. Проведено детальное изучение морфологии, анатомии и микроскопического строения мицелия этих объектов, также особое внимание было уделено изучению степени фитопатогенности и ее проявлений для анатомических структур организма-хозяина. Наиболее агрессивным ксилотрофным базидиомицетом оказался *P. igniarius*, который преимущественно поражает *Populus tremula* L. Фитопатогены *Betula pendula* Roth. оказались умеренно или слабопатогенными как по ксилотропности, так и по характеру проникновения в коровую часть и разрушению древесины. Полученные данные позволят лучше понимать особенности взаимодействия паразитических базидиомицетов с организмом-хозяином, а также проливают свет на экологию ксилотрофных базидиомицетов, что в свою очередь можно использовать при проведении лесотехнических и санитарных мероприятий по борьбе с фитопатогенами и для повышения качества древесины, получаемой от мелколиственных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарцева М. А. Определитель грибов России (порядок Афиллофоровые). Л.: Наука, 1998. Вып. 2. 391 с.
2. Бондарцева М. А. Эколого-биологические закономерности функционирования ксилотрофных базидиомицетов в лесных экосистемах // Грибные сообщества лесных экосистем. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2000. С. 9–25.
3. Змитрович И. В., Фирсов Г. А., Бондарцева М. А., Волобуев С. В., Большаков С. Ю. Базидиомицеты – возбудители хронических гнилей деревьев ботанического сада Петра Великого ботанического института имени В. Л. Комарова РАН: диагностика, биология, распределение по территории // Hortus Botanicus. 2018. № 13(13). С. 182–204. <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=5082>

4. Ильина Г. В. Ксилотрофные базидиомицеты в чистой культуре. Пенза: ПГАУ, 2013. 222 с.
5. Ильин Д. Ю., Ильина Г. В., Сашенкова С. А., Шкаев Н. В., Филатов А. Экологические аспекты лабораторного культивирования природных изолятов ксилотрофных базидиомицетов, распространенных в Пензенской области и перспективных в биотехнологии // *Нива Поволжья*. 2015. № 4(37). С. 44–53.
6. Камзолкина О. В., Биланенко Е. Н., Штаер О. В., Дольникова Г. А., Мухин В. А. Топология мицелия *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis pinicola*, *Piptoporus betulinus* и сопутствующих им грибов и бактерий в древесном субстрате березы // *Микология и фитопатология*. 2012. Т. 46. № 3. С. 210–216.
7. Марамохин Э. В., Малахова К. В. Изучение лесных фитопатогенов группы ксилотрофных базидиомицетов на примере *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. и *Phellinus igniarius* (L.) Quel. в культуре *in vitro* // *Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России*. 2018. № 2. С. 74–77.
8. Марамохин Э. В. Особенности культивирования ксилотрофного базидиомицета *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. на синтетических питательных средах в условиях *in vitro* // *Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: Сб. науч. тр. научно-практической конференции (12–14 февраля 2019 г.)*. Тверь, 2019. С. 97–99.
9. Марамохин Э. В., Малахова К. В., Зонтиков Д. Н., Сиротина М. В. Перспективы получения биологически активных веществ из культуры ткани некоторых ксилотрофных базидиомицетов // *Роль метаболизма в совершенствовании биотехнологических средств производства: Сб. тр. II международной научной конференции (6–7 июня 2019 г.)*. М., ВИЛАР, 2019. С. 159–162.
10. Сафонов М. А., Устинова Г. М. Субстратная специализация ксилотрофных грибов, как фактор, определяющий их расселение // *Вертикаль: вестник молодой науки Урала*. 1997. Т. 2. № 1. С. 128–130.
11. Сашенкова С. А., Ильина Г. В., Ильин Д. Ю. Изучение влияния обогащения питательных сред и субстратов микроэлементами германием и селеном при культивировании базидиальных грибов // *Экологические проблемы и здоровье населения: материалы II Всероссийской научно-практической конференции*. Пенза: ПГАУ, 2017. С. 48–51.
12. Burdon J. J., Thrall P. H. Spatial and temporal patterns in coevolving plant and pathogen associations // *The American Naturalist*. 1999. V. 153. № S5. P. S15–S33. <https://doi.org/10.1086/303209>
13. Krupodorova T. A., Barshteyn V. Y. Alternative substrates for higher mushrooms mycelia cultivation // *Journal of BioScience & Biotechnology*. 2015. V. 4. № 3. P. 339–347.
14. Lemieszek M. K., Langner E., Kaczor J., Kandefer-Szerszen M., Sanecka B., Mazurkiewicz W., Rzeski W. Anticancer effect of fraction isolated from medicinal Birch polypore mushroom, *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst. (Aphyllphoromycetidae): *In vitro* studies // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2009. V. 11. № 4. P. 351–364. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v11.i4.20>
15. Leviu L., Castro M. A. Anatomical study of the decay caused by the white-rot fungus *Trametes trogii* (Aphyllphorales) in wood of *Salix* and *Populus* // *IAWA journal*. 1998. V. 19. № 2. P. 169–180. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001519>
16. Pleszczyńska M., Wiater A., Siwulski M., Lemieszek M. K., Kunaszewska J., Kaczor, J., Szczodrak J. Cultivation and utility of *Piptoporus betulinus* fruiting bodies as a source of anticancer agents // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2016. V. 32. № 9. P. 151. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2114-4>

REFERENCES

1. Bondartseva, M. A. (1998). *Opredelitel' gribov Rossii (poryadok Afilloforovy)*. Leningrad, Nauka. (In Russian).
2. Bondartseva, M. A. (2000). *Ekologo-biologicheskie zakonomernosti funkcionirovaniya ksilotrofnykh bazidiomitsetov v lesnykh ekosistemakh. In Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem. Petrozavodsk, 9-25.* (In Russian).
3. Zmitrovich, I. V., Firsov, G. A., Bondartseva, M. A., Volobuev, S. V., & Bolshakov, S. Yu. (2018). Wood-inhabiting basidiomycetes as tree pathogens at the Peter the Great Botanical Garden of Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Science: their diagnostics, biology, and distribution over. *Hortus Botanicus*, 13(13). 182-204. (In Russian) <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=5082>
4. Ilyina, G. V. (2013). Xylotrophic basidiomycetes in pure culture. Penza. (In Russian).
5. Ilyin, D. Yu., Ilyina, G. V., Sashenkova, S. A., Shkaev, N. V., & Filatov, A. (2015). Environmental Aspects of Laboratory Cultivation of Natural Isolates of Xylotrophic Basidiomycetes widespread in Penza region which are Promising in Biotechnology. *Niva Povolzhya*, 4(37). 44-53. (In Russian).
6. Kamzolkina, O. V., Bilanenko, E. N., Staer, O. V., Dolnikova, G. A., & Mukhin, V. A. (2012). Topology of fomes fomentarius, fomitopsis pinicola and piptoporus betulinus mycelium and attendant fungi and bacteria in birch wood. *Mycology and phytopathology*, 46(3). 210-216. (In Russian).
7. Maramokhin, E. V., & Malakhova, K. V. (2018). Izuchenie lesnykh fitopatogenov gruppy ksilotrofnykh bazidiomitsetov na primere *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. i *Phellinus igniarius* (L.) Quel. v kul'ture in vitro. *Inzhenernye kadry – budushchee innovatsionnoi ekonomiki Rossii*, (2). 74-77. (In Russian).

8. Maramokhin, E. V. (2019). Osobennosti kul'tivirovaniya ksilotrofnogo bazidiomitseta *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. na sinteticheskikh pitatel'nykh sredakh v usloviyakh in vitro. In *Innovatsionnye podkhody k razvitiyu nauki i proizvodstva regionov: Sb. nauch. tr. nauchno-prakticheskoi konferentsii (12-14 fevralya 2019 g.)*. Tver', 97-99. (In Russian).
9. Maramokhin, E. V., Malakhova, K. V., Zontikov, D. N., & Sirotina, M. V. (2019). Perspektivy polucheniya biologicheski aktivnykh veshchestv iz kul'tury tkani nekotorykh ksilotrofnnykh bazidiomitsetov. In *Rol' metabolomiki v sovershenstvovanii biotekhnologicheskikh sredstv proizvodstva: Sb. tr. II mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (6-7 iyunya 2019 g.)*. Moscow, 159-162. (In Russian).
10. Safonov, M. A., & Ustinova, G. M. (1997). Substratnaya spetsializatsiya ksilotrofnnykh gribov, kak faktor, opredelyayushchii ikh rasselenie. *Vertikal': vestnik molodoi nauki Urala*, 2(1), 128-130. (In Russian).
11. Sashenkova, S. A., Il'ina, G. V., & Il'in, D. Yu. (2017). Izuchenie vliyaniya obogashcheniya pitatel'nykh sred i substratov mikroelementami germaniem i selenom pri kul'tivirovanii bazidial'nykh gribov. In *Ekologicheskie problemy i zdorov'e naseleniya: materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Penza, 48-51. (In Russian).
12. Burdon, J. J., & Thrall, P. H. (1999). Spatial and temporal patterns in coevolving plant and pathogen associations. *The American Naturalist*, 153(S5), S15-S33. <https://doi.org/10.1086/303209>
13. Krupodorova, T. A., & Barshteyn, V. Y. (2015). Alternative substrates for higher mushrooms mycelia cultivation. *Journal of BioScience & Biotechnology*, 4(3). 339–347.
14. Lemieszek, M. K., Langner, E., Kaczor, J., Kandefer-Szerszen, M., Sanecka, B., Mazurkiewicz, W., & Rzeski, W. (2009). Anticancer effect of fraction isolated from medicinal Birch polypore mushroom, *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst.(Aphyllphoromycetidae): In vitro studies. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 11(4). 351–364. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v11.i4.20>
15. Leviu, L., & Castro, M. A. (1998). Anatomical study of the decay caused by the white-rot fungus *Trametes trogii* (Aphyllphorales) in wood of *Salix* and *Populus*. *IAWA journal*, 19(2), 169-180. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001519>
16. Pleszczyńska, M., Wiater, A., Siwulski, M., Lemieszek, M. K., Kunaszewska, J., Kaczor, J., ... & Szczodrak, J. (2016). Cultivation and utility of *Piptoporus betulinus* fruiting bodies as a source of anticancer agents. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(9), 151. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2114-4>

Марамохин Э. В., Сиротина М. В., Зонтиков Д. Н. Культивирование мицелия и изучение фитопатогенности некоторых ксилотрофных базидиомицетов в условиях in vitro // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 12–18. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/02>

Maramokhin, E., Sirotina, M., & Zontikov D. (2020). Cultivation of mycelium and the study of the phytopathogenicity of certain xylotrophic basidiomycetes under in vitro conditions. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 12–18. (In Russian). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/02>

дата поступления: 27 марта 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Марамохин Э.В., Сиротина М.В., Зонтиков Д.Н.

Е. М. Макарова

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ЮЖНОГО ПЛЕСА ОЗ. МУНОЗЕРО (КАРЕЛИЯ)

E. M. Makarova

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL INDICATORS OF BACTERIOPLANKTON OF THE SOUTH STRETCH OF LAKE MUNOZERO (KARELIA)

Аннотация. Приведены результаты состояния пелагической части южного плеса озера Мунозеро (Карелия) по микробиологическим показателям за вегетационный сезон 2018 г. Для достижения поставленной цели было отобрано 27 проб в мае, июле и сентябре на различных горизонтах. Озеро Мунозеро является одним из уникальных озер Карелии за счет высокой минерализации (100 мг/л), низкого содержания биогенных и органических веществ. Общую численность, размерную структуру клеток и биомассу бактерий определяли с помощью люминесцентной микроскопии, путем фильтрации через черные нуклеопоровые трековые мембраны, после окрашивания бактерий акридином оранжевым. Общая численность бактерий варьировала от 0,66 до 1,85 млн кл/мл, а биомасса – от 0,13 до 0,66 г/м³. Средний объем клеток изменялся в диапазоне 0,18–0,34 мкм³. По численности преобладали кокковые формы бактерий. Время удвоения численности и продукцию бактерий определяли методом изолированных проб. Бактериальная продукция варьировала в пределах от 0,01 до 0,07 мг/л·сут⁻¹. Р/В-коэффициент (сут⁻¹) находился в пределах 0,05–0,2, что соответствовало времени удвоения 70–364 ч. Среднесуточная продукция за сезон составила 0,65 мг/л·сут⁻¹. Физиологическая активность бактерий достигала максимума в конце вегетационного периода. Количество сапрофитных бактерий, учитываемых на РПА, изменялось от 19 до 550 КОЕ/мл. Численность олигокарбофильных бактерий, растущих на РПА:10, варьировала в пределах 200–850 КОЕ/мл. Вода южного плеса оз. Мунозеро в период исследования оценена как чистая–умеренно загрязненная с промежуточным классом качества 2–3. Южный плес озера Мунозеро характеризуется как мезотрофный водоем.

Ключевые слова: Мунозеро; бактериопланктон; общая численность; биомасса; скорость размножения; продукция; сезонная динамика; оценка качества воды.

Сведения об авторе: Макарова Елена Михайловна, SPIN-код: 6933-4086, Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия, emm777@bk.ru.

About the authors: Makarova Elena Mikhailovna, SPIN code: 6933-4086, Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia, emm777@bk.ru.

Введение

Водные объекты, расположенные на территории Республики Карелия, имеют свои особенности. Водоемы гумидной зоны характеризуются повышенным содержанием гуминовых веществ,

железа и фосфора, высокой цветностью воды, слабой минерализацией, низкими величинами pH [7; 15]. Озеро Мунозеро является одним из немногих озер Карелии, которое отличается высокой минерализацией (100 мг/л), низким содержанием биогенных ($P_{\text{общ}} - 10$ мкг/л, $N_{\text{общ}} - 0,31$ мг/л) и органических веществ ($C_{\text{орг}} - 2-4$ мг/л) [7; 13]. Северо-восточный плес озера входит в состав государственного природного заповедника «Кивач». К югу от озера расположен первый в России курорт «Марциальные Воды». В настоящее время южная часть озера подвергается антропогенному воздействию со стороны населенных пунктов: вдоль западного берега расположены поселок Спаская губа, деревня Готнаволоок, дачные поселки Черемушки и Петровское, вдоль северного берега – деревня Декнаволоок.

Важным звеном в потоке энергии в водоеме являются бактерии. Благодаря их функционированию происходит реализация поступления в трофическую цепь растворенного и взвешенного органического вещества (ОВ), и дальнейшее его поступление на более высокие трофические уровни. Значительная часть растворенного ОВ, образованного первичными продуцентами, метаболизируется бактериями. И чтобы оценить вклад бактериального звена в биотический круговорот водной экосистемы, необходимо определить количественные и функциональные показатели микрофлоры, ее вертикальное распределение и сезонную динамику.

Цель настоящего исследования – изучить количественное развитие и функциональную активность бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро.

Материалы и методы исследования

Озеро Мунозеро расположено на территории Республики Карелия в Кондопожском районе, относится к бассейну Балтийского моря и принадлежит к нижней части водосбора р. Шуя – притока Онежского озера. Мунозеро являет собой систему из четырех плесов, различающихся между собой по морфометрическим, гидрологическим характеристикам, влиянием водосборной территории, что позволяет рассматривать их как отдельные водоемы.

По данным А.В. Сабылиной и Икко (2019), для вод оз. Мунозеро характерна слабощелочная реакция среды – 7,5, низкое содержание железа – 0,05 мг/л, цветность – 13 град. Pt-Co шкалы [13]. Вода водоема относится к гидрокарбонатному классу группы кальция. Содержание биогенных элементов и изменение показателей содержания ОВ в воде южного плеса озера представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели содержания ОВ в воде и концентрация биогенных элементов южного плеса оз. Мунозеро (Сабылина, Икко, 2019)

Сезон	Горизонт	ПО, мгО/л	БПК ₅ , мгО ₂ /л	Фосфор, мкг/л		Азот, мгN/л	
				$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$	$N_{\text{орг}}$
Весна	Поверхностный	4,5	1,34	1	11	0,34	0,21
	Придонный	4,2	0,96	1	11	0,34	0,19
Лето	Поверхностный	4	0,75	0	9	0,24	0,21
	Придонный	3,7	0,69	0	13	0,49	0,23
Осень	Поверхностный	4,1	2,1	2	13	0,27	0,23
	Придонный	3,6	1,45	2	13	0,35	0,15

Микробиологические исследования были выполнены на южном плесе оз. Мунозеро (рис. 1) в вегетационный сезон 2018 г. (май, июль, сентябрь). Глубина станции – 19 м. Пробы воды были отобраны в зависимости от вертикального распределения температуры и глубины фотического слоя. Облавливали горизонты: в мае – 0,5, 5, 19 м, в июле – 0,5, 10, 17 м, в сентябре – 0,5, 5,5, 17 м. Всего для микробиологического анализа было отобрано 27 проб воды.

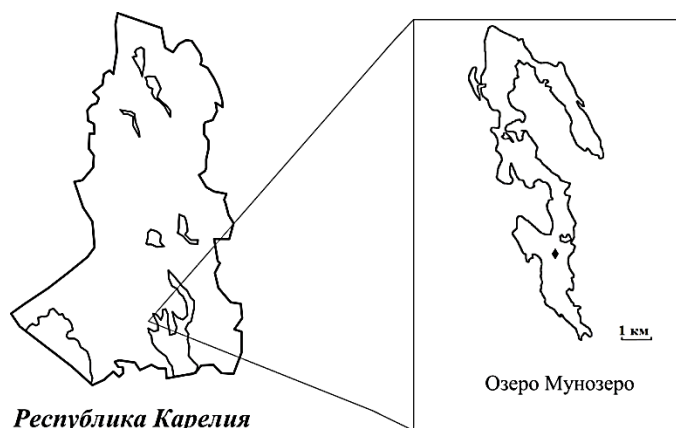


Рис. 1. Карта-схема оз. Мунозеро с расположением точки отбора проб на южном плесе

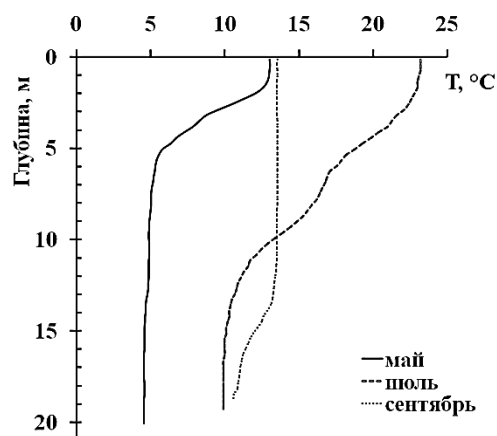


Рис. 2. Температура воды на южном плесе оз. Мунозеро в период отбора проб

Температура воды в период отбора проб изменялась в пределах: 4,5–13°C – в мае, 9,9–23,2°C – в июле, 10,6–13,5°C – в сентябре (рис. 2). Прозрачность воды составляла в мае – 5 м, в июле – 6,5 м, в сентябре – 5,5 м.

Исследования бактериопланктона включали определение количества палочковидных и кокковых форм бактерий, размерной структуры клеток, их биомассы, а также определение количественных показателей (общая численность, количество сапрофитных и олигокарбофильных бактерий) и функциональной активности (время удвоения, продукция, *P/B*-коэффициент) бактериопланктона.

Общую численность бактерий (ОЧБ), их размерную структуру и биомассу определяли методом прямого счета [10; 17; 18]. Продукцию и время удвоения бактерий определяли экспериментально методом изолированных проб воды по изменению численности бактерий в фильтрованных и нефильтрованных вариантах [2]. Расчет биомассы, продукции и времени удвоения бактерий производили по формулам, предложенным Гаком [1]. Количественный учет гетеротрофных бактерий производили по методу глубинного посева: сапрофитные бактерии (СБ) определяли на стандартной агаризованной среде РПА, количество олигокарбофильных бактерий (ОКБ) – на обедненной среде (РПА:10) [5; 11]. Средние в толще воды количественные и функциональные показатели бактериопланктона рассчитывали, как средневзвешенные.

Эколого-санитарное состояние южного плеса оз. Мунозеро (сапробность, трофность, загрязненность) оценивалось по количеству ОЧБ и сапрофитных бактерий [3; 12]. Статистический анализ выполнен в лицензированном пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru.

Результаты и их обсуждение

Количественная характеристика бактериопланктона по южному плесу оз. Мунозеро за 2018 г. приведены в таблице 2. За время исследования ОЧБ изменялась от 0,66 до 1,85 (в среднем $1,32 \pm 0,13$) млн. кл/мл. Разброс численности за вегетационный сезон составил 2,8 раза. В толще воды ОЧБ в мае составляла в среднем $1,32 \pm 0,26$ млн кл/мл. В июле обсемененность воды бактериями снижалась до $0,68 \pm 0,10$ млн кл/мл вследствие уменьшения в слое эплимниона фосфатов и нитратов из-за ассимиляции их фитопланктоном [13]. В сентябре вновь прослеживалось увеличение средних значений ОЧБ до $1,11 \pm 0,18$ млн кл/мл.

Количество гетеротрофных микроорганизмов, способных для построения своей биомассы использовать органический углерод и разрушать многие классы органических соединений как природного, так и антропогенного происхождения, в среднем за вегетационный сезон достигало значений 155 ± 57 КОЕ/мл и 433 ± 68 КОЕ/мл сапрофитных и олигокарбофильных бактерий соответственно (табл. 2). Весной и осенью на глубине прозрачности воды, при слабой температурной стратификации, пики численности СБ и ОКБ совпадали с пиком ОЧБ. Летом, при максимальной ОЧБ в придонном горизонте, численность гетеротрофных бактерий была максимальной в поверхностном слое, где наблюдалась максимальная температура.

Таблица 2

Количественная характеристика бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро в 2018 г.

	ОЧБ, млн кл/мл	Средний объем клетки, мкм ³	Биомасса бактерий, г/м ³	СБ, КОЕ/мл	ОКБ, КОЕ/мл
Май					
0,5	1,19	0,236	0,296	22	540
5	1,85	0,338	0,662	63	585
19	0,97	0,301	0,309	19	484
Июль					
0,5	0,66	0,207	0,145	550	850
10	0,68	0,178	0,128	87	265
17	0,97	0,177	0,182	21	200
Сентябрь					
0,5	0,73	0,309	0,241	186	330
5,5	1,35	0,260	0,371	247	360
17	1,03	0,228	0,248	200	285

Согласно классификации качества вод [12], вода южного плеса оз. Мунозеро по показателям ОЧБ и СБ в период исследования была оценена как чистая–умеренно загрязненная и имела промежуточный класс 2–3. Используя комплексную классификацию качества вод суши [8], исследуемый плес озера можно отнести к олиго-мезосапробным.

Морфологический состав клеток на южном плесе оз. Мунозеро представлен в основном кокковыми формами бактерий. В зависимости от горизонта отбора проб их доля от ОЧБ варьировала от 40 до 78% (в среднем за сезон – 67%). Доля палочковидных форм в среднем составляла 33% от ОЧБ. Лишь в летний период в поверхностном слое преобладали палочковидные формы (60% от ОЧ). Обилие кокковых форм констатирует высокий уровень активности бактериоценоза, следовательно, более интенсивный процесс самоочищения [14]. Для наглядной оценки динамики изменения размерной структуры бактериопланктона все клетки условно разделили на три группы: «мелкие» ($V < 0,2$ мкм³), «средние» ($0,2 \leq V < 0,8$ мкм³) и «крупные» ($V \geq 0,8$ мкм³) [16]. Численно преобладали мелкие кокковые формы бактерий, средний размер которых достигал 0,09 мкм³, что косвенно свидетельствует об увеличении трофности водоема [9] и подтверждается гидрохимическими показателями [13]. В весенне-летний период доля мелких кокковых форм составляла 97%, в сентябре их доля снизилась до 87%, при этом объем клеток увеличился почти в 1,8 раз, появились крупные формы. В мае среди палочек преобладали (58%) крупные формы клеток (в среднем 0,5 мкм³). В июле и сентябре среди палочек большую долю (54%) составляли средние формы (в среднем 0,36 мкм³).

Средние размеры клеток бактерий в озере за время исследования в среднем составляли: $0,292 \pm 0,03$ мкм³ – в мае, $0,187 \pm 0,01$ мкм³ – в июле, $0,266 \pm 0,02$ мкм³ – в сентябре.

В целом за вегетационный сезон в южном плесе морфологическая структура бактериального населения была вполне стабильной, размер клеток изменялся в 2 раза (табл. 3).

Биомасса бактерий в столбе воды в мае достигала $0,44 \pm 0,12$ г/м³, что под 1 м² водного столба соответствовало 9,2 г/м², в июле в среднем понизилась до $0,13 \pm 0,02$ г/м³ (2,4 г/м²), и в сентябре увеличилась до $0,30 \pm 0,04$ г/м³ (5,2 г/м²).

По показателям ОЧБ и биомассе южный плес оз. Мунозеро можно оценить как мезотрофный [3; 8].

Таблица 3

Морфологическая и размерная структура бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро

	Кокки		Палочки	
	Количество, %	Средний объем, мкм ³	Количество, %	Средний объем, мкм ³
Май	67	0,09	33	0,49
Июль	60	0,07	40	0,31
Сентябрь	74	0,12	26	0,41
Среднее	67	0,09	33	0,40

Общая активность бактериопланктона представлена в таблице 4. Средние значения показателя интенсивности размножения бактерий в мае и сентябре были близкими по значению: 92 ± 23 ч и 101 ± 34 ч соответственно. Однако весной размножение бактерий проходило интенсивно в придонном горизонте, а осенью – в поверхностном слое. Наиболее медленным размножение бактерий было в июле (в среднем в столбе воды 271 ± 105 ч). Сезонная динамика продукции в мае составляла $0,05 \pm 0,01$ мг/л·сут⁻¹, в июле снижалась до $0,01 \pm 0,005$, а в сентябре вновь достигала $0,05 \pm 0,02$ мг/л·сут⁻¹. Небольшое содержание ОВ и взвешенных веществ влияет на низкий уровень активности бактерий, и особенно в летний период, когда наблюдалась высокая температура среды и отсутствие осадков. Среднесуточная продукция за вегетационный сезон составила $0,03$ мг/л·сут⁻¹. P/B-коэффициент – показатель максимального суточного прироста биомассы, в зависимости от сезона отбора проб, в среднем в столбе воды составлял: весной – $0,16$ сут⁻¹, летом – $0,08$ сут⁻¹, осенью – $0,19$ сут⁻¹. Несмотря на максимальные значения ОЧБ в мае, показатели физиологической активности были наибольшими в конце вегетационного периода. Такая ситуация в весенний период может свидетельствовать о привнесении с водосборной территории аллохтонной микрофлоры в половодье.

Таблица 4

Микробиологические показатели физиологической активности южного плеса оз. Мунозеро: время удвоения (g, ч), продукция (P, мг/л·сут⁻¹), P/B-коэффициент (сут⁻¹)

	Горизонт	g	P	P/B
Весна	Поверхностный	123	0,04	0,13
	Придонный	77	0,07	0,22
Лето	Поверхностный	155	0,02	0,11
	Придонный	364	0,01	0,05
Осень	Поверхностный	70	0,07	0,24
	Придонный	137	0,03	0,12

Анализ данных показал, что продукция бактерий зависела от количества органического вещества и минерального фосфора в воде озера. Коэффициент корреляции Спирмена между продукцией бактерий и содержанием в воде БПК₅ и P_{мин} был достоверным ($r = 0,94$ и $r = 0,84$ соответственно, $p = 0,05$, $n = 6$).

Сравнивая полученные результаты с показателями бактериопланктона на северо-западном плесе [6], можно заключить, что южная часть озера обсеменена бактериями больше, и их физиологические процессы протекают быстрее из-за различной морфометрии плесов и более сильного влияния на южный участок антропогенного фактора. Также районы озера различаются по разряду сапробности: южный плес озера характеризуется как переходный от олигосапробного к мезосапробному, в то время как северо-западный плес имеет статус олигосапробного.

Сравнение полученных данных по показателям бактериопланктона с более ранними исследованиями [5; 7] показало, что данные по ОЧБ и биомассе бактерий сопоставимы, а количество СБ увеличилось на порядок (табл. 5). Различия могут быть связаны с методическими особенностями (предыдущие исследования проводили только в поверхностном слое воды), периодами отбора проб и районами исследования (места отбора проб не указаны).

Таблица 5

Средние показатели общей численности, биомассы бактериопланктона и сапрофитной микрофлоры в оз. Мунозеро в разные периоды исследований

Период отбора	Район озера	ОЧБ, млн кл/мл	Биомасса бактерий, мг/л	СБ, КОЕ/мл
Июнь–июль 1968 г.**	—*	0,29	—*	—*
Октябрь 1990 г.***	—*	0,81	0,34	31
Май, июль, сентябрь 2018 г.	Южный плес	0,86	0,23	253
Май, июль, сентябрь 2018 г.****	Северо-западный плес	0,82	0,21	116
Май, июль, сентябрь 2018 г.	Средняя по двум плесам	0,93	0,25	128

* – нет данных; ** – [Кузнецов и др., 1971]; *** – данные Тимаковой [Озера Карелии, 2013]; **** – данные Макаровой [Макарова, 2019]

Заключение

Таким образом, на южном плесе оз. Мунозеро в 2018 г. функциональная активность бактерий зависела от количества легкоминерализуемого органического вещества и биогенных элементов. Кроме того, на показатели бактериоценоза влияло развитие фитопланктона. К концу вегетационного сезона наблюдалось увеличение функциональной активности бактерий до максимальных значений. Ввиду погодных условий наименьшие количественные показатели были зафиксированы летом при высокой температуре. По сравнению с остальными районами озера, южная часть оз. Мунозеро испытывает большее антропогенное влияние, что сказывается на более интенсивном развитии микробиального сообщества. Статус южного плеса оз. Мунозеро можно охарактеризовать как мезотрофный. Подсчитанные *P/B*-коэффициенты для южного плеса оз. Мунозеро могут быть использованы для расчета балансовой модели биопродуктивности озера.

Работа выполнена в рамках Государственного задания в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гак Д. З. Бактериопланктон и его роль в биологической продуктивности водохранилищ. М.: Наука. 1975. 254 с.
2. Иванов М. В. Метод определения продукции бактериальной биомассы в водоеме // Микробиология. 1955. Т. 24. № 1. С. 70–89.
3. Копылов А. И., Косолапов Д. Б. Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных водоемов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: сб. тр. Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 23–27 октября 2007 г.). СПб: ЛЕМА. 2007. С. 176–181.
4. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука. 1989. 288 с.
5. Кузнецов С. И., Романенко В. И., Кузнецова Н. С. Микробиологическая характеристика озер Карелии // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 1971. № 22. С. 3–14.
6. Макарова Е. М. Бактериопланктон северо-западного плеса озера Мунозеро (Республика Карелия) // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 2. С. 57–65.
7. Озера Карелии. Гидрология, гидрохимия, биота / Под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 2013. 468 с.
8. Оксийок О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 2. № 4. С. 62–76.
9. Павельева Е. Б., Родэ Л. Ю. Микрогетеротрофный планктон в оз. Кривом // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии: Сб. науч. работ по материалам Международной конференции. М.: товарищество научных изданий КМК. 2006. С. 91–97.
10. Разумов А. С. Микробиальный планктон воды // Труды Всесоюзного гидробиологического общества. 1962. Т. 12. С. 60–190.
11. Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л.: Изд-во Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина АН СССР. 1974. 194 с.
12. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 318 с.
13. Сабылина А. В., Икко О. И. Оценка тенденций изменения химических показателей воды озера Мунозеро в многолетнем плане // Труды КарНЦ РАН. Серия Лимнология. 2019. № 9. С. 76–90.
14. Семушин А. В. Экология гетеротрофного бактериопланктонного сообщества прибрежных поверхностных вод Соловецкого архипелага: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2003. 138 с.
15. Теканова Е. В., Калинин Н. М., Кравченко И. Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 1. С. 90–100. <https://doi.org/10.7868/S2587556618010083>
16. Уманская М. В. Бактериопланктон разнотипных водоемов Самарской области // Протисты и бактерии озер Самарской области. Тольятти, 2009. С. 61–77.
17. Hobbie J. E., Daley R. J., Jasper S. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. Environ. Microbiol. 1977. V. 33. № 5. P. 1225–1228.
18. Zimmermann R., Iturriaga R., Becker-Birck J. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration // Appl. Environ. Microbiol. 1978. V. 36. № 6. P. 926–935.

REFERENCES

1. Gak, D. Z. (1975). Bakterioplankton i ego rol' v biologicheskoy produktivnosti vodokhranilishch [Bacterioplankton and its role in biological productivity of reservoirs]. Moscow. (In Russian).

2. Ivanov, M. V. (1955). Method for determination of bacterial mass production in a reservoir [Metod opredeleniya produktzii bakterial'noj massy v vodoeme] *Mikrobiologiya [Microbiology]*, 24(1). 79-89. (In Russian).
3. Kopylov, A. I., & Kosolapov, D. B. (2007). Mikrobiologicheskie indikatory evtrofirvaniya presnykh vodoemov [Microbiological indicators of eutrophication of freshwater bodies]. In: *Bioindikatsiya v monitoring presnovodnykh ekosistem: sbornik trudov Mezhdunarodnoy konferentsii (Sankt-Peterburg, 23–27 oktyabrya 2007 g.) [Bioindication in monitoring of freshwater ecosystems. Proceedings of the International Conference (Saint Petersburg, 23–27 October, 2007)]*. Saint Petersburg. 176-181. (In Russian).
4. Kuznetsov, S. I., Dubinina, G. A. (1989). Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods of study of aquatic organisms]. Moscow. (In Russian).
5. Kuznetsov, S. I., Romanenko, V. I., Kuznetsova, N. S. (1971). Mikrobiologicheskaya kharakteristika ozer Karelii [Microbiological characterization of Karelian lakes]. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod RAN [Proceedings of IBIW RAS]*, (22), 3-14. (In Russian).
6. Makarova, E. M. (2019). Bakterioplankton severo-zapadnogo plesa ozera Munozero (Respublika Kareliya) [Bacterioplankton of the north-western stretch of Lake Munozero (the Republic of Karelia)]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2(2). 57-65. (In Russian).
7. Oзера Karelii (2013). *Gidrologiya, gidrokhimiya, biota [Lakes of Karelia. Hydrology, hydrochemistry, biota]*. N. N. Filatov, V. I. Kukharev. (Eds.). Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS Publ. (In Russian).
8. Oksiyuk, O. P., Zhukinskiy, V. N., Braginskiy, L. P., Linnik, P. N., Kuz'menko, M. I., & Klenus, V. G. (1993). Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi [Complex ecological classification of quality of the inland surface water]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 2(4). 62-76. (In Russian).
9. Pavel'eva, E. B., & Rodeh, L.Yu. (2006). Mikroheterotrofnyy plankton v oz. Krivom [Microheterotrophic plankton in Lake Krivoe]. In *Sostoyanie i problemy produktzionnoy gidrobiologii: Sbornik nauchnykh rabot po materialam dokladov na Mezhdunarodnoy konferentsii, Moscow*, 91-97. (In Russian).
10. Razumov, A. S. (1962). Mikrobial'nyy plankton vody [Water microbial plankton]. *Trudy Vsesoyuznogo gidrobiologicheskogo obshchestva*, 12. 60-190. (In Russian).
11. Romanenko, V. I., & Kuznetsov, S. I. (1974). Ekologiya mikroorganizmov presnykh vodoemov [Ecology of microorganisms of freshwater bodies]. Leningrad. (In Russian).
12. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem. (1992). In *Guide on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems, St. Petersburg*. (In Russian).
13. Sabylina, A. V., & Ikko, O. I. (2019). Otsenka tendentsij izmeneniya himicheskikh pokazatelej vody ozera Munozero v mnogoletnem plane [Changes in the chemical composition of lake munozero (Karelia) water over the past 60 years]. *Trudy KarNTS RAN. Seriya Limnologiya*, (9). 76-90. (In Russian).
14. Semushin, A. V. (2003). Ehkologiya geterotrofnogo bakterioplanktonnogo soobshchestva pribrezhnykh poverkhnostnykh vod Solovetskogo arhipelaga. Avtoref. diss. ... kand. biol. Nauk. Syktyvkar. (In Russian).
15. Tekanova, E. V., Kalinkina, N. M., & Kravchenko, I. Yu. (2018). Geochemical peculiarities of Biota functioning in Water Bodies of Karelia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (1). 90-100. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S2587556618010083>
16. Umanskaya, M. V. (2009). Bakterioplankton raznotipnykh vodoemov Samarskoi oblasti. In *Protisty i bakterii ozer Samarskoi oblasti. Tol'yatti*, 61-77. (In Russian).
17. Hobbie, J. E., Daley, R. J., & Jasper, S. (1977). Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33(5), 1225-1228.
18. Zimmermann, R., Iturriaga, R., & Becker-Birck, J. (1978). Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration. *Appl. Environ. Microbiol.*, 36(6), 926-935.

Макарова Е. М. Структурно-функциональные особенности бактериопланктона южного плеса оз. Мунозеро (Карелия) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 2. С. 19–25. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/03>

Makarova, E. M. (2020). Structural and functional indicators of bacterioplankton of the south stretch of lake Munozero (Karelia). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 4–25. (In Russian). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/03>

дата поступления: 10 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Макарова Е.М.

О. Н. Скоробогатова, М. А. Семочкина, А. С. Москалева

ВОДОРΟΣЛИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОВОГО ФАКЕЛА (ХМАО–ЮГРА)

O. N. Skorobogatova, M. A. Semochkina, A. S. Moskalyova

IMPACT OF GAS FLARING ON ALGAE IN YUGRA RAISED BOGS

Аннотация. Цель настоящей работы – изучение альгологических сообществ под действием теплового излучения факела сжигания попутного газа путем оценки качественных и количественных параметров на различном удалении от факела, работающего в непрерывном режиме более тридцати лет. В результате двухлетних исследований водорослей северного сектора от ствола факела получены данные о 128 водорослях из 7 отделов. Лидируют зеленые водоросли Charophyta, затем следуют диатомовые, эвгленовые и цианобактерии. Наименьшие качественные и количественные показатели водорослей наблюдаются в зоне удаления от ствола факела на 100 и 50 м. Видовое богатство и численность водорослей были максимальными на контрольном участке с преобладанием Charophyta. У цианобактерий, золотистых и диатомовых водорослей все показатели увеличивается по мере удаления от факела. Эвгленовые водоросли равномерно распределены по участкам, что свидетельствует о высокой толерантности к воздействию нефтяных и органических загрязнений. Выявлено, что чем ближе к факелу находится альгоценоз, тем более проявляется его мелко-клеточность, становится беднее разнообразие, наблюдается исчезновение региональных форм, снижается численность водорослей. Таким образом, проведенные исследования можно использовать как методы биоиндикации состояния водных объектов, которые определяют степень воздействия загрязнения на экосистему болот. Данное исследование может быть рекомендовано в качестве метода визуализации научных результатов для лиц, принимающих решения, и будущего мониторинга загрязнения.

Ключевые слова: вид; альгоценоз; таксономический; региональный комплекс водорослей; доминанты.

Abstract. The research was aimed at studying the impact of thermal radiation from gas flaring on algal communities in raised bogs in Khanty–Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia. The qualitative and quantitative parameters of the studied communities were evaluated at different distances from the flare that had been operating continuously for more than thirty years. The two-year algological field study identified 128 algae of seven phyla, inhabiting the northern sector of the circular area around the gas flare. The most numerous groups in the samples were green algae Charophyta, followed by diatoms, euglena and cyanobacteria. The lowest values of qualitative and quantitative indicators were observed in algae 100 and 50 m away from the gas flare. The species diversity and abundance of algae were maximal in the control site dominated by Charophyta. In cyanobacteria, Chrysophyta and diatoms, all the indicators increased with distance from the flare. Euglena were evenly distributed over the sites, which indicates a high tolerance to oil and organic pollution. On drawing nearer to the gas flare, the algocenoses were observed to have small-celled morphology and poorer diversity, some regional forms disappeared and the abundance of algae decreased. This research can provide a basis for a bioindication method to determine the environmental status of water bodies and the degree of pollution in raised bogs. The findings can be recommended as scientific data for decision making and pollution monitoring.

Key words: species; algocenosis; taxonomic; regional algae complex; dominant.

Сведения об авторах: Скоробогатова Ольга Николаевна, ORCID: 0000-0002-6833-6462, канд. биол. наук, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, Olnics@yandex.ru; Семочкина Мария Александровна, ORCID: 0000-0003-2454-6983, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, manyashka-nv@mail.ru; Москалева Анна Сергеевна, ORCID: 0000-0003-1217-9565, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, moskalyova.anna@mail.ru.

About the authors: Skorobogatova Olga Nikolaevna, ORCID: 0000-0002-6833-6462, Ph.D., Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, Olnics@yandex.ru; Semochkina Maria Alexandrovna, ORCID: 0000-0003-2454-6983, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, manyashka-nv@mail.ru; Moskalyova Anna Sergeevna, ORCID: 0000-0003-1217-9565, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, moskalyova.anna@mail.ru.

Введение

Водно-болотные угодья относятся к водным ресурсам планеты, их роль в природных процессах и в жизни человеческого общества чрезвычайно велика и многообразна [1]. Ханты-Мансийский автономный округ–Югра представлен большим количеством водотоков, озер и болот, что является следствием избыточного увлажнения территории, равнинности рельефа и близкого залегания грунтовых вод. Преобладают верховые сфагновые болота с невысокими буграми, заросшие багульниковым болотным, карликовой березой, миртом болотным, морошкой, пушицей влагищной, в понижениях – сабельником болотным, различными видами осок.

Цель настоящей работы – изучение альгологических сообществ под действием теплового излучения факела сжигания попутного газа путем оценки качественных и количественных параметров на различном удалении от факела, работающего в непрерывном режиме на протяжении более тридцати лет.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на территории добычи нефти ХМАО-Югры – Покачевском месторождении в 100 км от г. Сургута. Материалом для работы послужили 43 оригинальных пробы фитопланктона, перифитона и бентоса, взятые в районе фонового и 3 экспериментальных участков грядово-мочажинного болота (табл. 1).

Таблица 1

Периоды сбора и количество альгологических проб, собранных в районе факельного хозяйства (Покачевское месторождение)

Расстояние от ствола факела, м	Количество собранных проб		
	всего	июнь 2018 г.	июль 2019 г.
50 м	12	7	5
100	11	6	5
200	8	2	6
500 (фоновый)	12	7	5
Всего	43	22	21

Исследования проведены в июне–июле 2018–2019 гг. В связи с ландшафтными особенностями для исследования отобраны участки в северном направлении от ствола факела: 50-метровая зона (61°44'11,70" с.ш., 75°05'45,66" в.д.), 100-метровая зона от факела (61°44'13,56"/75°05'46,93"), 200-метровая зона (61°44'16,44/75°05'48,36") и 500-метровая (61°44'26,40"/75°05'51,66") зона (фоновый участок). Содержание тяжелых металлов определено в химической лаборатории Нижневартского государственного университета (мг/кг болотной массы).

Альгологический материал отбирали и обрабатывали по общепринятым методикам [10; 16; 20]. Одновременно измеряли температуру и активность водородного показателя портативным прибором pHscan WP2. Пробы фиксировали 4%-ным раствором формалина. Определение видового состава проводилось на фиксированном материале. Диатомовые водоросли изучены на постоянных препаратах [5]. Все исследования проведены с помощью световых микроскопов Nikon ECLIPSE E200 и OLYMPUS SX4, при увеличении 100×20, 40×20 на кафедре экологии Нижневартского государственного университета.

Таксономическая принадлежность водорослей установлена по отечественным определителям [4; 5; 9; 13; 14; 21], зарубежным сводкам и атласам [24–26; 30] с учетом современных номенклатурных изменений [25].

Результаты и их обсуждение

В период исследований показатель pH воды на участках Покачевского месторождения колебался в диапазоне от 2,4 до 3,4, указывая на значительное закисление вод. Показатель является характерным для исследуемого региона. Усредненный температурный показатель болотных вод по участкам находился в пределах 19,1–30,6°C, причем наивысшая температура отмечена в зоне 50 м, что свидетельствует о явном тепловом воздействии факела.

В пробах почвы участков факельного хозяйства отмечены высокие концентрации кадмия и свинца. Подобные наблюдения обсуждались ранее на участках Ершового нефтяного месторождения [28]. Наивысшие показатели Pb, Mn, Fe, Cr выявлены на расстоянии 200 м от факела, причем концентрация данных веществ постепенно нарастает от ствола факела до зоны 200 м. На расстоянии 500 м от факела концентрация тяжелых металлов резко уменьшается, приближаясь к фоновым

значениям. Существует обратная зависимость – уменьшение содержания металлов Zn, Cd, Cu при удалении от факела.

Таксономическое разнообразие, выраженное в видовом богатстве и соотношении таксонов разного ранга, является одной из важнейших характеристик биологических сообществ. Оно отражает происхождение, эволюционный статус фитоценозов и обеспечивает их стабильность [7]. Альгофлора сфагновых болот довольно однообразна и малочисленна в связи с повышенной кислотностью среды и бедностью элементами минерального питания [8; 23; 29].

В результате двухлетних исследований в болотах Покачевского месторождения в совокупности выявлено 128 водорослей, относящихся к 62 родам, 35 семействам, 12 классам, 7 отделам (табл. 2).

Таблица 2

Таксономический состав водорослей верховых болот (Покачевское месторождение)

Отдел	Классов	Семейств	Родов	Вид, разновидность, форма	Доля, %
Суанобактерия (Суанопрокариота)	1	6	9	14	10,9
Chrysophyta	2	2	4	11	8,7
Bacillariophyta	3	11	12	27	21,1
Euglenophyta	1	3	8	21	16,4
Xanthophyta	1	1	1	4	3,1
Chlorophyta	2	8	13	14	10,9
Charophyta	2	4	15	37	28,9
Всего	12	35	62	128	100

По числу таксонов рангом ниже рода (далее – видов) преобладают зеленые водоросли, которые в сумме составляют 39,8% от выявленных, им уступают диатомовые (21,1%), затем следуют эвгленовые – 16,4% и цианопрокариоты – 10,9%. Менее разнообразно представлены золотистые и желтозеленые с общим долевым участием в 11,1%. Общеизвестно, что зеленые водоросли увеличивают свое присутствие в высокоширотных водных объектах. Последние исследования в ХМАО – Югре являются подтверждением замены диатомовых ценозов зелеными [2; 3; 12; 17; 19].

В ведущую группу по ранжированию входят 5 классов соответственно: *Conjugatophyceae* (26,6% от списочного состава), *Bacillariophyceae* (19,5), *Euglenophyceae* (16,4), *Cyanophyceae* (19,3) и *Chlorophyceae* (6,9). В них включено подавляющее число выявленных водорослей – 90,6%.

Из 35 семейств с числом видов в диапазоне от 10 до 18 выделяются только 5: *Desmidiaceae* и *Euglenidae* (по 14,1% списочного состава), *Closteriaceae* (11,7), *Dinobryaceae* и *Eunotiaceae* (по 7,8). В составе ведущих семейств находятся 71 вид, или 55,5% выявленных водорослей. В 10 семействах найдено по 2–3 вида (19,5), также отмечается значительное число одновидовых семейств (монотипичных).

В родовом спектре насчитывается 7 наиболее крупных, включающих 40,6% выявленного состава водорослей. К ним относятся: *Eunotia* (7,7%), *Actinotaenium* (7,0), *Dinobryon* (6,3), *Staurastrum* (5,5), *Pinnularia*, *Closterium* и *Lepocinclis* (по 4,7). Характер альгоценозов заболоченных водных систем ХМАО–Югры отличается высоким родовым коэффициентом перечисленных родов [11; 15]. Все перечисленные роды, за исключением последнего, приурочены к кислым слабоминерализованным водам, и так как потребность в тех или иных биогенных элементах у разных систематических групп водорослей неодинакова, то перечисленные таксоны водорослей можно отнести к организмам, характерным для исследуемого региона. Однако в исследуемом альгоценозе – более половины родов (42) относятся к монотипичным (одновидовым), что свидетельствует об их крайней неустойчивости и вероятности исчезновения при изменениях факторов среды.

При изучении альгологических сообществ верхового болота в зависимости от близости исследуемой зоны к факелу отмечены некоторые особенности, в том числе отличия формирования условий среды, общего разнообразия числа видов в пробах, таксономической структуры, доминирующих видов. Наименьшее видовое разнообразие водорослей отмечено в 100-метровой зоне (39 доминирующих видов) и в зоне 50 м от ствола факела (табл. 3).

Таблица 3

Видовой состав водорослей верховых болот по участкам в северном направлении от газового факела (Покачевское месторождение)

Отдел	50 м	100 м	200 м	500 м
Cyanobacteria (Cyanoprokaryota)	2	0	4	13
Chrysophyta	4	2	6	9
Bacillariophyta	14	13	22	25
Euglenophyta	7	8	8	6
Xanthophyta	1	2	1	3
Chlorophyta	5	1	2	6
Charophyta	11	13	19	21
Всего	44	39	62	86

Активность водородного показателя в зоне 50 м колебалась в диапазоне от 2,4 до 2,6 единиц. Для болотных верховых почв характерна кислая реакции среды (2,5–3,8) [22]. Температура воды в мочажинах достигала значений 21–30,6⁰С, что свидетельствует о тепловом воздействии факельного горения. В сообществе доминируют: *Rhabdomonas costata* (Korshikov) Pringsheim, *Lepocinclis ovum* (Ehrenberg) Lemmerman (*Euglenophyta*) и *Actinotaenium rufescens* (Cleve) Teiling (*Charophyta*). Наблюдались мелкоклеточные жизненные формы водорослей. Число видов в пробах низкое и колеблется в пределах от 7 до 12.

Следующая зона исследования находилась в 100 метрах от ствола факела. Пробы отобраны из мочажин, канавы со следами нефти и очесов. Водородный показатель находился между отметками 2,6 и 3,0, температура воды 19,1–20,6⁰С. Общее видовое разнообразие в этом секторе низкое, в отдельных пробах колеблется от 5 до 25 видов. К числу доминирующих относятся мелкоклеточная диатомея – *Navicula* sp. и *Actinotaenium phymatosporum* (Nordstedt) (*Charophyta*). При исследовании водных объектов парка «Югра» было тоже отмечено крайне негативное воздействие нефтяных загрязнений на альгоценозы: упрощение их состава, структуры, наличие мелких жизненных форм, падение численности и т. д. [18].

Третий сектор наблюдений расположен на удалении в 200 м от факела. Пробы воды отобраны в мочажинах. рН был идентичен предыдущему участку, температура – от 20,7⁰С до 28,3⁰С. Разнообразие водорослей для олиготрофного болота довольно высокое, здесь найдено около половины их списочного состава – 48,4%. Структура альгоценоза приближена к структуре олиготрофного болота, т. е. на первых местах находятся зеленые, затем диатомовые и эвгленовые водоросли. В пробах число водорослей колеблется от 16 до 22 видов, наблюдается мощный комплекс золотистых водорослей рода *Dinobryon*, крупноклеточных, диатомовых рода *Pinnularia* и высокое разнообразие региональных представителей *Charophyta*. Доминируют золотистые *Dinobryon sertularia* Ehrenberg (*Chrysophyta*) и зеленые нитчатые водоросли, идентификация которых не проведена в связи с отсутствием фертильных талломов.

Фоновый сектор относительно факела удален на 500 м, рН водных проб – 2,6–2,9; температура 19,1–23,6⁰С. В мочажинах фоновой зоны найдено наибольшее разнообразие водорослей, которое составляет 67,2% от всех обнаруженных. Долевое соотношение крупных таксонов наиболее соответствует альгоценозу сфагнового болота. Так, лидирующие позиции занимают зеленые, диатомовые, цианопрокариоты. Список доминантов возглавляет *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg (*Cyanoprokaryota*). К содоминантам относятся *Dinobryon sertularia* var. *protuberans* Ehrenberg (*Chrysophyta*), *Anabaena* sp. (*Cyanoprokaryota*), *Actinotaenium rufescens* (Cleve) Teiling (*Charophyta*).

Общими для всех исследованных зон являются 18 водорослей из 5 отделов: *Microcystis pulvereae* (H.C.Wood) Forti (*Cyanoprokaryota*), *Dinobryon divergens* O.E.Imhof, *D. sertularia* Ehrenberg, *D. sertularia* var. *protuberans* Ehrenberg и *D. pediforme* (Lemmermann) Steinecke (*Chrysophyta*), *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Pinnularia interrupta* W.Smith, *Eunotia arcus* Ehrenberg, *E. exigua* (Brébisson) Rabenh., *E. lunaris* (Ehrenberg) Grunov var. *lunaris*, *E. lunaris* var. *capitata* Grunov (*Bacillariophyta*), *Tribonema viride* Pasch. (*Ochrophyta* (*Xanthophyta*)), *Closterium primum* Brébisson, *Actinotaenium rufescens* (Cleve) Teiling, *Staurastrum margaritaceum* Meneghini ex Ralfs, *Bambusina borneri* (Ralfs) Cleve, *Spirogyra* sp., *Mougeotia* sp. (*Charophyta*).

Таким образом, по результатам проведенного исследования выявлено, что наличие нефтепродуктов в поверхностных водах изученных участков изменяет качественные и количественные показатели альгоценозов.

Заключение

По результатам проведенного исследования на территории факельного хозяйства выявлено, что воздействие факела изменяет состав, структуру и численность альгоценозов.

В ходе инвентаризации водорослей болотных участков Покачевского месторождения 2018–2019 гг. выявлено 128 типовых видов, разновидностей и форм, включая идентифицированные до рода. Представители отделов *Charophyta*, *Bacillariophyta*, *Euglenophyta* и *Chlorophyta* составляют наибольшую долю от всего числа найденных водорослей (77,3%). Отмечена корреляция между местонахождением участка и числом выявленных водорослей. Данные сведения свидетельствуют о негативном воздействии факельного хозяйства на пастбищные цепи.

Доля видового состава «регионального комплекса» водорослей уменьшается и составляет 75% на фоновом участке от общего списка выявленных водорослей, 72,7% в зоне 200 м, 53,8% – в 50 м от факела.

Всего выявлено 9 доминантов и субдоминантов, численность которых колеблется от 13,2 тыс. кл/л (фон) до 1,1 тыс. кл/л (участок 50 м от ствола факела). *Actinotaenium rufescens* доминирует на фоновом участке и в зоне 50 м.

В экологическом аспекте по участкам в основном преобладают планктонные, индифферентные по отношению к солям и рН воды, широко распространенные водоросли, которые входят в олиго-; бета-; мезосапробную и альфабетамезосапробную зону.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в рамках научного проекта № 18-44-860005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валеева Э. И., Московченко Д. В. Роль водно-болотных угодий в устойчивом развитии севера Западной Сибири. Тюмень: Институт проблем освоения Севера СО РАН, 2001. 229 с.
2. Гидора О. Ю., Науменко Ю. В. Видовой состав водорослей природного парка «Сибирские Увалы» // Растительный мир Северной Азии: проблемы изучения и сохранения биоразнообразия: Мат-лы Всеросс. конф. (Новосибирск, 1–3 октября 2013 г.). Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 2013. С. 27–29.
3. Гидора О. Ю. Исследование водорослей ручьев бассейна р. Сабун (Западная Сибирь) // Бассейновые территории: проблемы и пути их решения: Материалы междунар. науч.- практич. конф. / ред.-сост. Г. С. Кошечева. Ишим, 2013. С. 93–95.
4. Голлербах М. М., Косинская Е. К., Полянский В. И. Синезеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. М.: Советская наука, 1953. 630 с.
5. Дедусенко–Щеголева Н. Т., Голлербах М. М. Желтозеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. Вып. 5. 272 с.
6. Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И., Шешукова В. С. Диатомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. М.: Изд-во Советская наука, 1951. 619 с.
7. Комулайнен С. Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2004. 182 с.
8. Куликовский М. С. Диатомовые водоросли некоторых сфагновых болот европейской части России: Автореф. дис. ... канд. биолог. наук. СПб., 2007. 24 с.
9. Матвиенко А. М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. Золотистые водоросли – *Chrysophyta*. М.: Советская наука, 1954. 188 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Л.: Наука, 1981. 32 с.
11. Науменко Ю. В., Скоробогатова О. Н. Виды рода *Eunotia* Ehr. в фитопланктоне реки Вах (Западная Сибирь) // *Turczaninowia*. 2009. Т. 12. № 1-2. С. 65–70.
12. Науменко Ю. В., Скоробогатова О. Н., Семочкина М. А. Род *Desmodesmus* (Chod.) An, Friedl et Hegew (Scenedesmaceae) в фитопланктоне реки Вах (Западная Сибирь) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016. № 2. С. 70–75.
13. Паламарь-Мордвинцева Г. М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11(2). Зеленые водоросли – порядок десмидиевые. Л.: Наука, 1982. 620 с.
14. Попова Т. Г. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М.: Советская наука, 1955. 282 с.

15. Птухина О. Ю. Виды рода *Closterium* Nitzsch в фитопланктоне реки Глубокий Сабун (Западная Сибирь) // Актуальні проблеми ботаніки та екології : матеріали Міжнар. конф. мол. учених (Ужгород, 19–23 вересня. 2012 р.). Ужгород, 2012. С. 44–45.
16. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
17. Скоробогатова О. Н. Водоросли семейства Hydrodictyaceae планктона реки Вах // В мире научных открытий. 2015. № 2-1. С. 720–732.
18. Скоробогатова О. Н. Таксономическая структура цианопрокариот и водорослей водных объектов парка «Югра» // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2017. № 4. С. 17–22.
19. Скоробогатова О. Н., Науменко Ю. В., Федорова В. М., Семочкина М. А. Результаты исследований зеленых водорослей рода *Scenedesmus* Меуен в планктоне реки Вах // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2015. № 1. С. 3–14.
20. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. // Методы биологического анализа вод. М.: СЭВ, 1976. 185 с.
21. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с.
22. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.
23. Штина Э. А., Антипина Г. С., Козловская Л. С. Альгофлора болот Карелии и ее динамика под воздействием естественных и антропогенных факторов. Л.: Наука, 1981. 269 с.
24. Cleve-Euler A. Die diatomeen von Schweden und Finnland // Kongl. Svenska. Vet. Akad. Handl. 1953. V. 44. P. 11–158.
25. Cleve-Euler A. Die diatomeen von Schweden und Finnland // Kongl. Svenska. Vet. Akad. Handl. 1951. V. 2. № 1. P. 3.
26. Cleve-Euler A. Die Diatomeen von Schweden und Finnland. Stockholm. 1955. V. 5. 153 pp.
27. Guiry D. M. *AlgaeBase*. World wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2019. <http://www.algaebase.org>
28. Skorobogatova O. N., Yumagulova E. R., Storchak T. V., Barinova S. S. Bioindication of the Influence of Oil Production on Sphagnum Bogs in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug–Yugra, Russia // Diversity. 2019. V. 11. № 11. P. 207. <https://doi.org/10.3390/d11110207>
29. Skorobogatova O. N. et al. Phytoplankton of surface waters under oil pollution (Samotlor field, Western Siberia) // Periodico Tche Quimica. 2019. V. 16. № 32. P. 306–320.
30. Starmach K. Chrysophyceae // Flora slodkowodna polski. Warszawa, Krakow: Naukowa. 1980. V. 5. 775 pp.

REFERENCES

1. Valeeva, E. I., & Moskovchenko, D. V. (2001). Role of Wetlands in Sustainable Development of West Siberian North. Tyumen. (In Russian).
2. Gidora, O. Yu., & Naumenko, Yu. V. (2013). Vidovoi sostav vodoroslei prirodnogo parka “Sibirskie Uvaly”. In *Rastitel'nyi mir Severnoi Azii: problemy izucheniya i sokhraneniya bioraznoobraziya: Mat-ly Vseross. konf. (Novosibirsk, 1-3 oktyabrya 2013 g.)*. Novosibirsk, 27-29. (In Russian).
3. Gidora, O. Yu. (2013). Issledovanie vodoroslei ruch'ev basseina r. Sabun (Zapadnaya Sibir') In *Basseino-vye territorii: problemy i puti ikh resheniya, Ishim*, 93-95. (In Russian).
4. Gollerbach, M. M., Kosinskaya, E. K., & Polyanskii, V. I. (1953). Sinezelenye vodorosli. *Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR*. 2. Moscow. (In Russian).
5. Dedusenko–Shchegoleva, N. T., & Gollerbach, M. M. (1962). Zheltozelenye vodorosli. In *Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR*, Moscow. (In Russian).
6. Zabelina, M. M., Kiselev, I. A., Proshkina-Lavrenko, A. I., & Sheshukova, V. S. (1951). Diatomovye vodorosli. In *Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR*. 4. Moscow. (In Russian).
7. Komulainen, S. F. (2004). Ekologiya fitoperifitona malykh rek Vostochnoi Fennoskandii. Petrozavodsk. (In Russian).
8. Kulikovskii, M. S. (2007). Diatomovye vodorosli nekotorykh sfagnovykh bolot evropeiskoi chasti Rossii: dis. ... kand. biolog. nauk. St. Petersburg. (In Russian).
9. Matvienko, A. M. (1954). Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR. 3. In *Zolotistye vodorosli – Chrysophyta*. Moscow. (In Russian).
10. Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh (1981). Leningrad. (In Russian).
11. Naumenko, Yu. V., & Skorobogatova, O. N. (2009). Species of Genus *Eunotia* Ehr. in the Phytoplankton of the Vakh River (West Siberia). *Turczaninowia*, 12(1-2). 65-70. (In Russian).

12. Naumenko, Yu. V., Skorobogatova, O. N., Semochkina, M. A. (2016). Genus *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S. An, T. Friedl, E. hegewald in the phytoplankton of the Vakh River (West Siberia). *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, (2). 70-75. (In Russian).
13. Palamar'-Mordvintseva, G. M. (1982). *Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR. In 11(2). Zelenye vodorosli – porjadok desmidievye. Leningrad.* (In Russian).
14. Popova, T. G. (1955). *Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR. In 7. Evglenovye vodorosli. Moscow.* (In Russian).
15. Ptukhina, O. Yu. (2012). Vidy roda *Closterium* Nitzsch v fitoplanktone reki Glubokii Sabun (Zapadnaya Sibir'). *In Aktual'ni problemi botaniki ta ekologii: materialy Mizhnar. konf. mol. uchenikh (Uzhgorod, 19-23 veresnya. 2012 r.). Uzhgorod*, 44-45. (In Russian).
16. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem (1992). Pod red. V. A. Abakumova. St. Petersburg. (In Russian).
17. Skorobogatova, O. N. (2015). Vodorosli semeistva Hydrodictyaceae planktona reki Vakh. *V mire nauchnykh otkrytii*, (2-1). 720-732. (In Russian).
18. Skorobogatova, O. N. (2017). Taxonomic structure of cyanoprokaryota and algae of water bodies in "Yugra" park (Nizhnevartovsk area, Khanty-Mansiysk autonomous okrug – Yugra). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (4). 17-22. (In Russian).
19. Skorobogatova, O. N., Naumenko, Yu. V., Fedorova, V. M., Semochkina, M. A. (2015). Results of studying green algae *scenedesmus meyen* in the plankton of the Vakh River. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 3-14. (In Russian).
20. Unifitsirovannyye metody issledovaniya kachestva vod (1976). *In 3. Metody biologicheskogo analiza vod, Moscow.* (In Russian).
21. Tsarenko, P. M. (1990). *Kratkii opredelitel' khlorokokkovykh vodoroslei Ukrainskoi SSR. Kiev.* (In Russian).
22. Shishov, L. L., Tonkonogov, V. D., Lebedeva, I. I., & Gerasimova, M. I. (2004). Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii. Smolensk. (In Russian).
23. Shtina, E. A., Antipina, G. S., & Kozlovskaya, L. S. (1981). Al'goflora bolot Karelii i ee dinamika pod vozdeystviem estestvennykh i antropogennykh faktorov. Leningrad. (In Russian).
24. Cleve-Euler, A. (1953). Die diatomeen von Schweden und Finnland. *Kongl. Svenska. Vet. Akad. Handl*, 44, 11-158.
25. Cleve-Euler, A. (1951). Die diatomeen von Schweden und Finnland. *Kongl. Svenska. Vet. Akad. Handl*. 2(1). P. 3.
26. Cleve-Euler, A. (1955). Die Diatomeen von Schweden und Finnland. *Stockholm*, 5. 153.
27. Guiry, D. M. (2019). *AlgaeBase*. World wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>
28. Skorobogatova, O., Yumagulova, E., Storchak, T., & Barinova, S. (2019). Bioindication of the Influence of Oil Production on Sphagnum Bogs in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug–Yugra, Russia. *Diversity*, 11(11), 207. <https://doi.org/10.3390/d11110207>
29. Skorobogatova, O. N., Yumagulova, E. R., Storchak, T. V., & Ivanova, N. A. (2019). Phytoplankton of surface waters under oil pollution (Samotlor field, Western Siberia). *Periodico Tche Quimica*, 16(32), 306-320.
30. Starmach, K. (1980). *Chrysophyceae//Flora slodkowodna polski. Warszawa, Krakow: Naukowa*, 5, 775.

Скоробогатова О. Н., Семочкина М. А., Москалева А. С. Водоросли верховых болот в зоне влияния газового факела (ХМАО–ЮГРА) // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 26–32. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/04>

Skorobogatova, O. N., Semochkina, M. A., & Moskalyova, A. S. (2020). Impact of gas flaring on algae in Yugra raised bogs. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 26–32. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/04>

дата поступления: 03 января 2020 г.

дата принятия: 11 марта 2020 г.

© Скоробогатова О.Н., Семочкина М.А., Москалева А.С.

Д. А. Щукина, Г. Г. Борисова, М. Г. Малева

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛОВ ТОЛЕРАНТНОСТИ АДВЕНТИВНОГО МАКРОФИТА *LEMNA GIBBA* L. К ДЕЙСТВИЮ ИОНОВ МЕДИ

D. A. Shchukina, G. G. Borisova, M. G. Maleva

TOLERANCE OF ADVENTIVE MACROPHYTE *LEMNA GIBBA* L. TO COPPER IONS: RANGE EVALUATION

Аннотация. В последние десятилетия активизировались процессы адвентизации флоры, что представляет угрозу биоразнообразию. Адвентивные виды растений осваивают новые территории, включая трансформированные, вытесняя аборигенные виды. В связи с этим актуальным является изучение пределов толерантности чужеродных видов к высоким техногенным нагрузкам, что позволит оценить перспективы распространения адвентивных растений. Целью исследования было выявление ответных реакций адвентивного макрофита *Lemna gibba* L. на действие ионов меди в градиенте концентраций от 0 до 10 мг/л. Фронды ряски инкубировали в модельных системах в течение 6 суток при естественном освещении. Выявлена высокая положительная корреляция между содержанием меди в растворе и растениях. При этом рост накопления металла носил экспоненциальный характер. Обнаружено проявление фитотоксических эффектов меди с увеличением концентрации $\geq 0,5$ мг/л, что выражалось в повышении содержания прооксидантов и депигментации фрондов за счет деградации фотосинтетических пигментов. При максимальной концентрации меди (10 мг/л) содержание хлорофиллов было ниже в 2,5 раза, а каротиноидов – в 11,5 раз по сравнению с контролем. Проведенное исследование позволило оценить пределы толерантности *L. gibba* к действию ионов меди и выявить физиолого-биохимические параметры, которые могут быть использованы в качестве биомаркеров токсичности.

Ключевые слова: адвентивная фракция флоры; тяжелые металлы; прооксидантные реакции; пигментный аппарат; биомаркеры токсичности.

Сведения об авторах: Щукина Дарья Алексеевна, ORCID: 0000-0003-1645-9054, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, postnikdaria@rambler.ru; Борисова Галина Григорьевна, ORCID: 0000-0001-6663-9948, д-р геогр. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, G.G.Borisova@urfu.ru; Малева Мария Георгиевна, ORCID: 0000-0003-1686-6071, канд. биол. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, maria.maleva@mail.ru.

About the authors: Shchukina Daria Alekseevna, ORCID: 0000-0003-1645-9054, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, postnikdaria@rambler.ru; Borisova Galina Grigoryevna, ORCID: 0000-0001-6663-9948, Dr. habil., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, G.G.Borisova@urfu.ru; Maleva Maria Georgievna, ORCID: 0000-0003-1686-6071, Ph.D., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, maria.maleva@mail.ru.

Abstract. In recent decades, adventitization processes in flora have become more vigorous, which poses a threat to biodiversity. Adventive plant species occupy new territories, including transformed ones, and oust native species. In this regard, it is relevant to study the tolerance range of alien species to high technogenic loads since it can help assess the spread of adventive plants. The aim of the research was to study the response of the adventive macrophyte *Lemna gibba* L. to the copper ions action in a gradient from 0 to 10 mg/L. Duckweed fronds were incubated in model systems for six days under natural light conditions. A high positive correlation between copper content in the nutrient solution and plants was revealed. Moreover, the rise of metal accumulation was exponential. With an increase in copper concentration ≥ 0.5 mg/L, its phytotoxic effect manifested itself through the increased prooxidant content and the depigmentation of fronds due to the photosynthetic pigments degradation. At the maximum copper concentration (10 mg/L), the chlorophyll content was 2.5 times lower, and carotenoids, 11.5 times, as compared to the control sample. The study assessed *L. gibba* tolerance range to the copper ions action and identified physiological and biochemical parameters that can serve as toxicity biomarkers.

Key words: adventive flora fraction; heavy metals; prooxidant reactions; pigment apparatus; toxicity biomarkers.

Введение

В настоящее время на общемировом уровне наблюдается активизация процессов адвентизации флоры, что является прямым следствием возрастающей антропогенной нагрузки на природные экосистемы. Адвентивные виды растений вытесняют виды местной флоры, становясь эдификаторами и доминантами растительных сообществ, чем представляют собой серьезную угрозу региональному биологическому разнообразию [1]. Во всех странах мира уделяется большое внимание изучению адвентивных видов, механизмов их внедрения и характера миграций. На сегодняшний день выполнен большой объем исследований процессов адвентизации флоры: проведена инвентаризация, дана подробная биоэкологическая характеристика, изучена динамика биологического разнообразия, выявлены закономерности распределения [6; 30]. Однако недостаточно изучены остаются эколого-физиологические механизмы адаптации, позволяющие чужеродным растениям внедряться в природные сообщества и успешно конкурировать с аборигенными видами.

Lemna gibba L. (ряска горбатая) – плавающий водный макрофит из семейства Lemnaceae, относится к числу активно расселяющихся представителей адвентивной фракции флоры и встречается почти на всех обитаемых континентах [20]. *L. gibba* характеризуется как агрессивный инвазивный вид, предпочитающий произрастать в эвтрофных водных экосистемах. До недавнего времени этот вид не имел широкого распространения в умеренных областях Северного полушария из-за климатических особенностей, в том числе и на территории России. Однако в зарубежной и отечественной литературе все чаще стали появляться сообщения о быстром распространении этого вида по территории Евразии. В России распространение вида с запада на восток пока ограничено Западной Сибирью (Курганская и Тюменская области, ХМАО–Югра) [2].

К настоящему времени опубликовано значительное число работ, посвященных изучению вариантов использования *L. gibba* для очистки сточных и рудничных вод от тяжелых металлов (ТМ) и других поллютантов [14; 23; 24; 28; 29; 31]. Большой интерес у исследователей вызывают аспекты, связанные с изучением механизмов устойчивости этого макрофита к действию меди [8; 10; 18; 25]. Медь характеризуется не только высоким уровнем токсичности среди других ТМ в ряду Ирвинга–Вильямса [16; 17; 19], но и тем, что является важным эссенциальным элементом, который необходим для роста и развития растений [12; 15; 22]. Однако, будучи редокс-активным металлом, медь может напрямую участвовать в генерации высокотоксичных активных форм кислорода (АФК) и вызывать окислительный стресс в клетках растений [18; 22; 23]. В большинстве случаев исследования направлены на оценку аккумулятивной способности *L. gibba* в отношении меди и возможностей использования этого вида для биоиндикационных и фиторемедиационных целей [11; 13; 24; 27]. Однако ответные физиолого-биохимические реакции этого адвентивного макрофита изучены недостаточно. Кроме того, в связи с ростом антропогенной нагрузки на водные экосистемы, все большую актуальность приобретает поиск доступных и эффективных биомаркеров токсичности, что позволит оперативно оценить степень воздействия и спрогнозировать состояние гидроценозов. Таким образом, данное исследование было направлено на оценку пределов толерантности *L. gibba* к действию меди и выявление репрезентативных физиолого-биохимических параметров, перспективных для использования в качестве биомаркеров токсичности.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования были растения *L. gibba*, отобранные в середине июля 2019 г. из естественной популяции, обитающей в пруду-отстойнике сточных вод Северского трубного завода (г. Полевской, Свердловская область). Данный водоем характеризуется высоким уровнем техногенного загрязнения, в том числе и повышенным содержанием меди, которое в среднем в 8 раз превышало предельно допустимую концентрацию для водных объектов рыбохозяйственного назначения [7].

Растения промывали проточной, а затем дистиллированной водой и инкубировали в цилиндрических сосудах объемом 3 л в течение 6 суток на 5%-ной питательной среде Хогланда–Арнона I (без микроэлементов). В опытные варианты добавляли сульфат меди в концентрации 0,1; 0,25; 0,5; 1; 5 и 10 мг/л (в расчете на ион). Контролем служили сосуды со средой без добавления меди. Растения инкубировали при естественном освещении (фотопериод 16:8) и температуре 24°C ± 2°C.

Визуальную оценку депигментации фрондов ряски и степени некротических изменений проводили по окончании срока инкубирования. Содержание меди в фрондах *L. gibba* определяли с

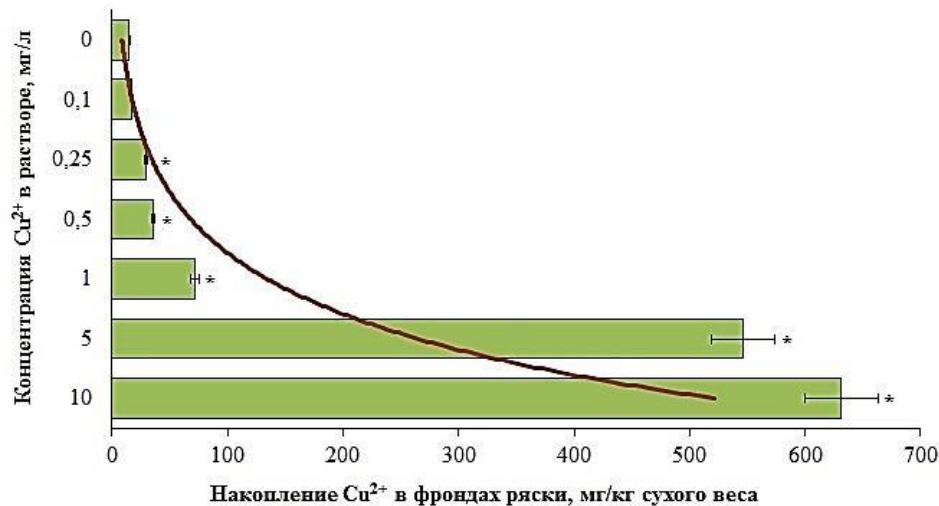
помощью атомно-абсорбционного спектрометра AA240FS (Varian, США) после мокрого озоления 70% HNO_3 осч. Определение содержания пероксида водорода, продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и фотосинтетических пигментов проводили спектрофотометрически на PD-303UV (APEL, Япония) в четырех биологических повторностях.

Содержание пероксида водорода определяли с использованием ксиленолового реактива при 560 нм; продуктов ПОЛ (в расчете на малоновый диальдегид, МДА) – с использованием тиобарбитуровой кислоты при 532 и 600 нм [3]. Фотосинтетические пигменты экстрагировали в 80%-м растворе ацетона; содержание хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов измеряли при 665, 649 и 440 нм и рассчитывали согласно Lichtenthaler [21].

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Excel 2010 и Statistica 10. Достоверность различий между вариантами оценивали согласно непараметрическому критерию Манна–Уитни при уровне значимости $p < 0,05$. Коэффициенты ранговой корреляции рассчитывали по Спирмену.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов по содержанию меди в фрондах *L. gibba* через 6 суток инкубации на возрастающих концентрациях иона от 0 до 10 мг/л позволил охарактеризовать рост накопления металла как экспоненциальный (рис. 1). Выявлена высокая положительная корреляция между содержанием меди в растворе и в растениях ($r = 0,99$; $p < 0,05$). За 6 суток инкубации на максимальной концентрации металла фронды ряски накапливали до 630 мг Cu^{2+} /кг сухого веса. Были выявлены достоверные различия концентраций металла в растениях, инкубированных в растворах с концентрацией меди от 0,25 до 10 мг/л. При этом до концентрации меди в питательной среде 1 мг/л прирост аккумуляции металла в тканях макрофита составлял в среднем 60%. Концентрации, превышающие 1 мг/л меди в среде, вызывали резкое увеличение накопления металла (в среднем в 40 раз по сравнению с контролем). Отсутствие линейной зависимости между концентрацией металла в среде и его содержанием в растениях *L. gibba* отмечалось и ранее [4]. Возможно, это связано с нарушением функционирования барьерных механизмов вследствие окисления липидов мембранных комплексов [9; 15; 18].



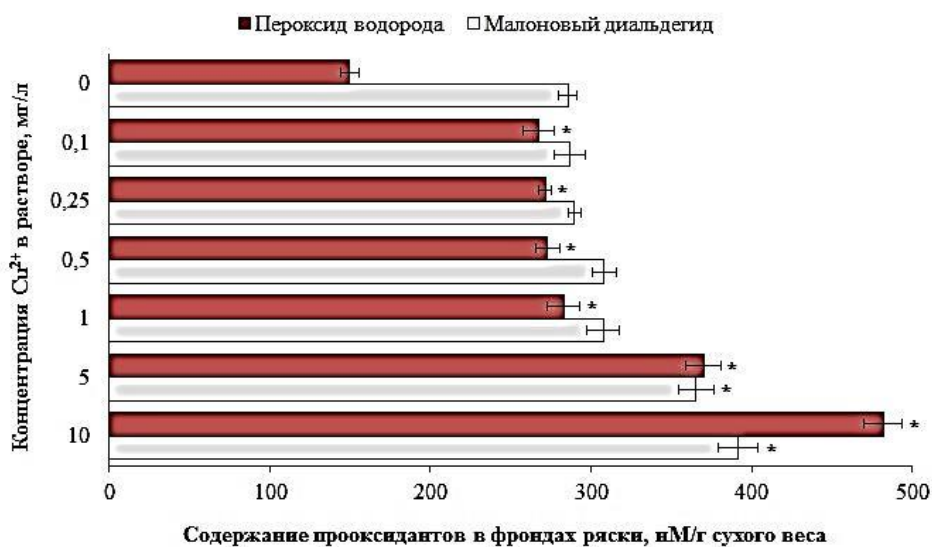
Примечание: линией показан экспоненциальный рост содержания Cu^{2+} в тканях макрофита; * – достоверные различия от контроля при $p < 0,05$

Рис. 1. Накопление меди в фрондах *L. gibba* за 6 суток инкубации на разных концентрациях металла

Повышенные концентрации меди в среде вызывали развитие окислительного стресса у *L. gibba*. Достоверно значимые различия от контроля по содержанию пероксида водорода были зафиксированы, начиная с концентрации Cu^{2+} в среде, равной 0,1 мг/л, а по уровню продуктов ПОЛ – с 5 мг/л (рис. 2).

При максимальной концентрации металла в среде (10 мг/л) содержание пероксида водорода в фрондах ряски было в 3,0, а содержание МДА – в 1,4 раза выше, чем в контроле. Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена показал высокую положительную связь между содержанием меди в растворе и содержанием прооксидантов (как МДА, так и пероксида водорода,

$r = 0,99$; $p < 0,05$). По-видимому, интенсивное образование пероксида водорода активировало процессы ПОЛ, что, как следствие, привело к нарушению структуры клеточных мембран и изменению их проницаемости для ионов меди, способствуя их активному поступлению в клетки макрофита.



Примечание: *- достоверные различия от контроля при $p < 0,05$

Рис. 2. Содержание пероксида водорода и малонового диальдегида в фрондах *L. gibba* через 6 суток инкубации на разных концентрациях меди

Для оценки влияния меди на состояние пигментного комплекса *L. gibba* были изучены степень депигментации растений и содержание фотосинтетических пигментов. Исследование показало, что для фотосинтетического аппарата ряски характерна достаточно высокая устойчивость к действию этого металла. За 6 суток инкубации заметные изменения окраски фрондов ряски наблюдались лишь при концентрации $\geq 0,5$ мг/л. С возрастанием концентрации меди в среде наблюдалось дальнейшее усиление депигментации, которая выражалась в изменении окраски фрондов *L. gibba* от темно-зеленой до желтовато-зеленой (рис. 3).

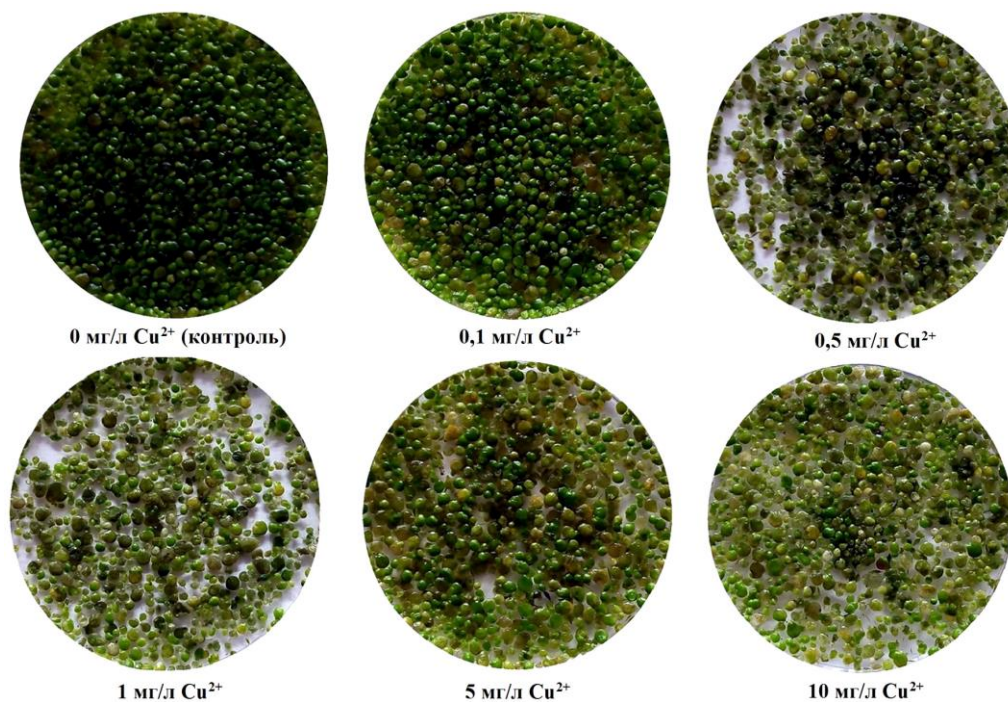
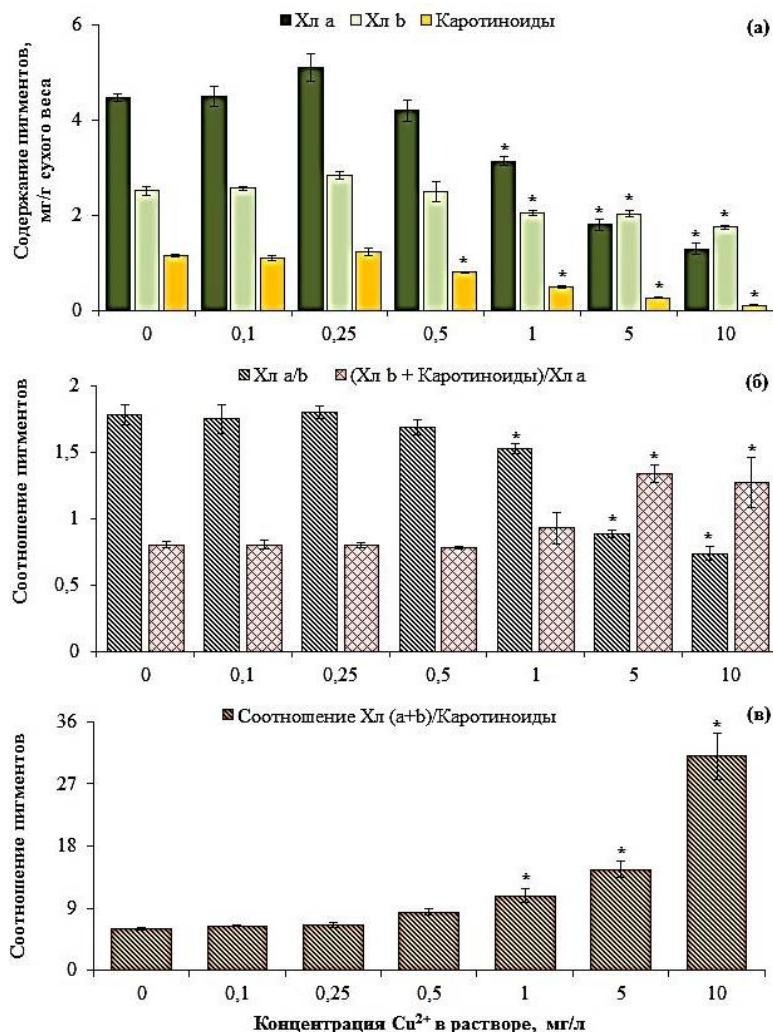


Рис. 3. Состояние фрондов *L. gibba* через 6 суток инкубации в градиенте концентраций меди



Примечание: * – достоверные различия от контроля при $p < 0,05$.

Рис. 4. Содержание фотосинтетических пигментов (а) и их соотношение (б, в) в фрондах *L. gibba* через 6 суток инкубации на разных концентрациях меди

Вероятно, это явление происходило вследствие деградации фотосинтетических пигментов. Кроме того, в градиенте концентраций ионов меди активизировались некротические процессы, сопровождающиеся повреждением и отмиранием фрондов: при максимальной концентрации меди в среде (10 мг/л) доля поврежденных фрондов *L. gibba* составляла около 70% от их общего количества.

При возрастании концентраций ионов меди в среде до 0,5 мг/л содержание хлорофиллов у *L. gibba* достоверно не изменялось (рис. 4а). Концентрация меди 0,25 мг/л в некоторой степени вызывала стимуляцию синтеза фотосинтетических пигментов (в среднем на 10% от контроля). Подобный положительный эффект низких концентраций токсиканта (наподобие эффекта «гормезиса») был отмечен у другого вида ряски [26]: у *Lemna trisulca* при действии низких концентраций ионов меди – от 1 до 10 мкМ. Более высокие концентрации меди вызывали деградацию как хлорофиллов, так и каротиноидов. При максимальной концентрации меди (10 мг/л) содержание хлорофиллов было ниже в среднем в 2,5 раза, а каротиноидов – в 11,5 раз по сравнению с контрольными значениями.

Степень активности фотосинтетического аппарата часто оценивают по соотношению хлорофиллов (Хл а/b) и отношению хлорофиллов к каротиноидам. При возрастании концентрации меди от 0,5 до 10,0 мг/л отношение хлорофилла а к хлорофиллу b снижалось в 2 раза (рис. 4б). Это связано с более резким уменьшением количества Хл а в градиенте концентраций меди, в то время как Хл b оказался более устойчивым к действию этого металла.

Пониженная величина соотношения Хл *a/b* у *L. gibba* свидетельствует о том, что значительная часть хлорофиллов находится в светособирающем комплексе фотосистем [5]. Анализ соотношения суммы вспомогательных пигментов (Хл *b* + Каротиноиды) к основному (Хл *a*), характеризующего долю антенных форм, показал его достоверное увеличение в фрондах ряски при инкубировании в среде с концентрациями меди 5 и 10 мг/л (рис. 4б). При этом отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам, характеризующее в целом светособирающую функцию пигментного комплекса, также достоверно возросло (рис. 4в). В целом обнаружена высокая отрицательная корреляция между концентрацией меди в среде и содержанием фотосинтетических пигментов ($r = -0,87$; $p < 0,05$).

Выводы

Результаты модельного эксперимента позволили установить достоверный фитотоксический эффект действия ионов меди на *L. gibba* в концентрации $\geq 0,5$ мг/л, что выражалось в повышении содержания прооксидантов (пероксида водорода и малонового диальдегида), а также депигментации фрондов ряски из-за деградации фотосинтетических пигментов. Несмотря на это, исследуемый адвентивный вид продемонстрировал достаточно высокую устойчивость к меди, что, вероятно, позволяет ему быть более конкурентоспособным, чем аборигенные водные растения, и успешно внедряться на новые территории в условиях повышенного загрязнения природных водоемов тяжелыми металлами. Проведенное исследование позволило оценить пределы толерантности *L. gibba* к действию меди и выявить репрезентативные физиолого-биохимические параметры, которые можно рекомендовать в качестве биомаркеров токсичности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 02.А03.21.0006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010.
2. Капитонова О. А. Материалы к биологии и экологии рясковых (Lemnaceae) Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. Т. 1. № 18. С. 127–131. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019024>
3. Борисова Г. Г., Малева М. Г., Некрасова Г. Ф., Чукина Н. В. Методы оценки антиоксидантного статуса растений. Екатеринбург, 2012.
4. Некрасова Г. Ф., Малева М. Г., Новачек О. И. Роль белков в связывании Cu, Cd, Ni листьями гидрорифитов // Вестник Нижегородского государственного университета. 2009. № 1. С. 3–15.
5. Новаковская Т. В., Дымова О. В. Видовое разнообразие и пигментный комплекс макрофитов водоемов окрестностей г. Сыктывкара (Республика Коми) // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2012. № 5(1). С. 127–134.
6. Хорун Л. В. Проблемы инвазионной экологии растений в зарубежной научной литературе // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2014. № 3. С. 64–77.
7. Шиленко Н. А., Соколова С. А., Анисова С. Н., Лесников Л. А., Лебедев А. Т., Семёнова И. В. Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999.
8. Ater M., Ali N., Kasmi H. Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau: *Lemna minor* L. et *Lemna gibba* L // Journal of Water Science. 2006. V. 19. № 1. P. 57–67. <https://doi.org/10.7202/012597ar>
9. Ayala A., Muñoz M. F., Argüelles S. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal // Oxidative medicine and cellular longevity. 2014. V. 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>
10. Babu T. S., Tripuranthakam S., Greenberg B. M. Biochemical responses of the aquatic higher plant *Lemna gibba* to a mixture of copper and 1, 2-dihydroxyanthraquinone: Synergistic toxicity via reactive oxygen species // Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal. 2005. T. 24. № 12. С. 3030–3036. <https://doi.org/10.1897/05-073R.1>
11. Banu Doğanlar Z. Metal accumulation and physiological responses induced by copper and cadmium in *Lemna gibba*, *L. minor* and *Spirodela polyrhiza* // Chemical Speciation & Bioavailability. 2013. Vol. 25. № 2. P. 79–88. <https://doi.org/10.3184/095422913X13706128469701>
12. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. 2006. V. 88. № 11. P. 1707–1719. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>

13. Duman F., Leblebici Z., Aksoy A. Bioaccumulation of nickel, copper, and cadmium by *Spirodela polyrhiza* and *Lemna gibba* // Journal of Freshwater Ecology. 2009. V. 24. № 1. P. 177–179. <https://doi.org/10.1080/02705060.2009.9664279>
14. Galczyńska M., Mankowska N., Milke J., Busko M. Possibilities and limitations of using *Lemna minor*, *Hydrocharis morsus-ranae* and *Ceratophyllum demersum* in removing metals with contaminated water // Journal of Water and Land Development. 2019. V. 40. № 1. P. 161–172. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0018>
15. Hall J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance // Journal of experimental botany. 2002. V. 53. № 366. P. 1–11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>
16. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B. Trace elements from soil to human. Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
17. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. Florida: CRC Press, 2001.
18. Kanoun-Boulé M., Vicente J. A., Nabais C., Prasad M. N. V., Freitas H. Ecophysiological tolerance of duckweeds exposed to copper // Aquatic toxicology. 2009. V. 91. № 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.09.009>
19. Krämer U., Talke I. N., Hanikenne M. Transition metal transport // FEBS letters. 2007. V. 581. № 12. P. 2263–2272. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.010>
20. Landolt E. Morphological differentiation and geographical distribution of the *Lemna gibba*-*Lemna minor* group // Aquatic Botany. 1975. V. 1. P. 345–363. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(75\)90036-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90036-4)
21. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in enzymology. 1987. V. 148. P. 350–382. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
22. Maksymiec W. Effect of copper on cellular processes in higher plants // Photosynthetica. 1997. V. 34. P. 321–342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>
23. Megateli S., Semsari S., Couderchet M. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba* // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2009. Vol. 72. № 6. P. 1774–1780. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.004>
24. Mkandawire M., Taubert B., Dudel E.G. Capacity of *Lemna gibba* L. (duckweed) for uranium and arsenic phytoremediation in mine tailing waters // International Journal of Phytoremediation. 2004. Vol. 6. № 4. P. 347–362. <https://doi.org/10.1080/16226510490888884>
25. Perreault F., Samadani M., Dewez D. Effect of soluble copper released from copper oxide nanoparticles solubilisation on growth and photosynthetic processes of *Lemna gibba* L. // Nanotoxicology. 2014. Vol. 8. № 4. P. 374–382. <https://doi.org/10.3109/17435390.2013.789936>
26. Prasad M. N. V., Malec P., Waloszek A., Bojko M., Strzałka K. Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation // Plant Science. 2001. Vol. 161. № 5. P. 881–889. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00478-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00478-2)
27. Rejmánková E. Comparison of *Lemna gibba* and *Lemna minor* from the production ecological viewpoint // Aquatic Botany. 1975. Vol. 1. P. 423–427. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(75\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90042-X)
28. Sasmaz A., Dogan I. M., Sasmaz M. Removal of Cr, Ni, and Co in the water of chromium mining areas by using *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. // Water and Environment Journal. 2016. Vol. 30. № 3-4. P. 235–242. <https://doi.org/10.1111/wej.12185>
29. Sasmaz M., Topal E. I. A., Obek E., Sasmaz A. The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey // Journal of environmental management. 2015. Vol. 163. P. 246–253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.029>
30. Scheffer M., Szabo S., Gragnani A., Van Nes E. H., Rinaldi S., Kautsky N., Franken R. J. Floating plant dominance as a stable state // Proceedings of the national academy of sciences. 2003. Vol. 100. № 7. P. 4040–4045. <https://doi.org/10.1073/pnas.0737918100>
31. Yilmaz D. D. Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of *Lemna gibba* (Lemnaceae) // Journal of Hazardous Materials. 2007. Vol. 147. № 1-2. P. 74–77. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.047>

REFERENCES

1. Vinogradova, Yu. K., Maiorov, S. R., & Khorun, L. V. (2010). Chernaya kniga flory Srednei Rossii: chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii. Moscow. (In Russian). <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019024>
2. Kapitonova, O. A. (2019). Materials to the biology and ecology of duckweeds (Lemnaceae) of Siberia. *Problems of botany of South Siberia and Mongolia*, 18(1). 127-131. (In Russian). <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019024>
3. Borisova, G. G., Maleva, M. G., Nekrasova, G. F., & Chukina, N. V. (2012). Metody otsenki antioksidantnogo statusa rastenii. Ekaterinburg. (In Russian).
4. Nekrasova, G. F., Maleva, M. G., & Novachek, O. I. (2009). Rol' belkov v svyazyvanii Cu, Cd, Ni list'yami gidrofitov. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, (1), 3-15. (In Russian).

5. Novakovskaya, T. V., & Dymova, O. V. (2012). Species diversity and pigment complex of macrophytes from water reservoirs in the Syktyvkar (Komi Republic) neighbourhood. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, (5-1), 127–134. (In Russian).
6. Khorun, L. V. (2014). The main problems of the invasive plant ecology in the foreign literature. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta, Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, 3, 64-77. (In Russian).
7. Shilenko, N. A., Sokolova, S. A., Anisova, S. N., Lesnikov, L. A., Lebedev, A. T., & Semenova, I. V. (1999). Perechen' rybokhozyaistvennykh normativov predel'no-dopustimyykh kontsentratsii (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob"ektov, imeyushchikh rybokhozyaistvennoe znachenie. Moscow. (In Russian).
8. Ater, M., Ali, N., & Kasmi, H. (2006). Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau: *Lemna minor* L. et *Lemna gibba* L. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 19(1), 57-67. <https://doi.org/10.7202/012597ar>
9. Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>
10. Babu, T. S., Tripuranthakam, S., & Greenberg, B. M. (2005). Biochemical responses of the aquatic higher plant *Lemna gibba* to a mixture of copper and 1, 2-dihydroxyanthraquinone: Synergistic toxicity via reactive oxygen species. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 24(12), 3030-3036. <https://doi.org/10.1897/05-073R.1>
11. Banu Doğanlar, Z. (2013). Metal accumulation and physiological responses induced by copper and cadmium in *Lemna gibba*, L. minor and *Spirodela polyrhiza*. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 25(2), 79-88. <https://doi.org/10.3184/095422913X13706128469701>
12. Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88(11), 1707-1719. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>
13. Duman, F., Leblebici, Z., & Aksoy, A. (2009). Bioaccumulation of Nickel, Copper, and Cadmium by *Spirodela polyrhiza* and *Lemna gibba*. *Journal of Freshwater Ecology*, 24(1), 177–179. <https://doi.org/10.1080/02705060.2009.9664279>
14. Gałczyńska, M., Mańkowska, N., Milke, J., & Buško, M. (2019). Possibilities and limitations of using *Lemna minor*, *Hydrocharis morsus-ranae* and *Ceratophyllum demersum* in removing metals with contaminated water. *Journal of Water and Land Development*, 40(1), 161-172. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0018>
15. Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of experimental botany*, 53(366), 1-11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>
16. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B. (2007). Trace elements from soil to human. Heidelberg: Springer-Verlag.
17. Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001). Trace elements in soils and plants. Florida: CRC Press.
18. Kanoun-Boulé, M., Vicente, J. A., Nabais, C., Prasad, M. N. V., & Freitas, H. (2009). Ecophysiological tolerance of duckweeds exposed to copper. *Aquatic toxicology*, 91(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.09.009>
19. Krämer, U., Talke, I. N., & Hanikenne, M. (2007). Transition metal transport. *FEBS letters*, 581(12), 2263-2272. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.010>
20. Landolt, E. (1975). Morphological differentiation and geographical distribution of the *Lemna gibba*-*Lemna minor* group. *Aquatic Botany*, 1, 345-363. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(75\)90036-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90036-4)
21. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*, 148, 350-382. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
22. Maksymiec, W. (1998). Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica*, 34(3), 321-342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>
23. Megateli, S., Semsari, S., & Couderchet, M. (2009). Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 72(6), 1774-1780. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.004>
24. Mkandawire, M., Taubert, B., & Dudel, E. G. (2004). Capacity of *Lemna gibba* L. (Duckweed) for uranium and arsenic phytoremediation in mine tailing waters. *International Journal of Phytoremediation*, 6(4), 347-362. <https://doi.org/10.1080/16226510490888884>
25. Perreault, F., Samadani, M., & Dewez, D. (2014). Effect of soluble copper released from copper oxide nanoparticles solubilisation on growth and photosynthetic processes of *Lemna gibba* L. *Nanotoxicology*, 8(4), 374-382. <https://doi.org/10.3109/17435390.2013.789936>
26. Prasad, M. N. V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M., & Strzałka, K. (2001). Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation. *Plant Science*, 161(5), 881-889. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00478-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00478-2)

27. Rejmánková, E. (1975). Comparison of *Lemna gibba* and *Lemna minor* from the production ecological viewpoint. *Aquatic Botany*, 1, 423-427. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(75\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90042-X)
28. Sasmaz, A., Dogan, I. M., & Sasmaz, M. (2016). Removal of Cr, Ni and Co in the water of chromium mining areas by using *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. *Water and Environment Journal*, 30(3-4), 235-242. <https://doi.org/10.1111/wej.12185>
29. Sasmaz, M., Topal, E. I. A., Obek, E., & Sasmaz, A. (2015). The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *Journal of environmental management*, 163, 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.029>
30. Scheffer, M., Szabo, S., Gragnani, A., Van Nes, E. H., Rinaldi, S., Kautsky, N., ... & Franken, R. J. (2003). Floating plant dominance as a stable state. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(7), 4040-4045. <https://doi.org/10.1073/pnas.0737918100>
31. Yilmaz, D. D. (2007). Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of *Lemna gibba* (Lemnaceae). *Journal of hazardous materials*, 147(1-2), 74-77. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.047>

Щукина Д. А., Борисова Г. Г., Малева М. Г. Оценка пределов толерантности адвентивного макрофита *Lemna gibba* L. к действию ионов меди // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 33–41. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/05>

Shchukina, D. A., Borisova, G. G., & Maleva, M. G. (2020). Tolerance of adventive macrophyte *Lemna gibba* L. to copper ions: range evaluation. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 33–41. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/05>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 12 апреля 2020 г.

© Щукина Д.А., Борисова Г.Г., Малева М.Г.

И. В. Обидина, Г. И. Чурилов, С. Д. Полищук, А. Ю. Тарара,
С. С. Гомозова, Н. Б. Рыбин, Л. Е. Амплеева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩЕГО И ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОПОРОШКОВ МЕДИ И КОБАЛЬТА НА ПРОРОСТКИ РИСА

I. V. Obidina, G. I. Churilov, S. D. Polischuk,
A. Yu. Tarara, S. S. Gomozova, N. B. Rybin, L. E. Ampleeva

STIMULATING AND TOXIC EFFECTS OF COPPER AND COBALT NANOPOWDERS ON RICE SEEDLINGS

Аннотация. Нанопорошки металлов обладают стимулирующим воздействием на рост и развитие растений. Биологическая активность наночастиц зависит от размеров, концентрации, химического состава. Имея широкий диапазон направлений применения в медицине и сельском хозяйстве, они требуют дальнейшего изучения. Наночастицы меди и кобальта обладают биосовместимостью и выполняют роль стимуляторов роста, не обладают токсичностью и могут быть использованы для контакта с живыми системами. Объектом нашего исследования является рис, как экономически важная культура. Мы исследовали воздействие наночастиц кобальта и меди на прорастание и развитие проростков. Определили оптимальную концентрацию ультрадисперсных растворов этих нанопорошков для предпосевной обработки семян. Обладая разной химической природой наночастицы меди и кобальта показывают сходный характер воздействия и дозозависимый эффект. Минимальные концентрации исследуемых наночастиц положительно воздействовали на морфологические и биометрические показатели проростков. Для определения токсического эффекта измеряли активность оксидазных ферментов, которая показала обратимый характер окислительного стресса. Увеличение активности супероксиддисмутазы и уменьшение активности каталазы менее чем на 30% свидетельствует о стрессоустойчивости ростков риса и отсутствии фитотоксического воздействия нанометаллов. Определяли наличие данных металлов в гомогенате проростков. Электронно-микроскопический анализ распределения металлов в тканях экспериментальных растений не выявил существенных отклонений от контрольных значений. Экспериментальные исследования выполнены с использованием научного оборудования РЦЗМкп РГРТУ.

Ключевые слова: ультрадисперсные порошки; наночастицы; биологическая активность; кобальт; медь.

Abstract. Metal nanopowders have a stimulating effect on the growth and development of plants. The biological activity of nanoparticles depends on size, concentration, and chemical composition. Nanoparticles require further study because they have a wide range of applications in medicine and agriculture. Being biocompatible, copper and cobalt can play the role of growth stimulant, are not toxic and can be used for contact with living systems. The object of study was rice, as an economically important culture. The study addressed the effect of cobalt and copper nanoparticles on the germination and development of rice seedlings. The optimal concentration of ultrafine solutions of these nanopowders for pre-sowing treatment of seeds was determined. Although copper and cobalt have different chemical nature, the nanoparticles show similar impact and dose-dependent effect. Minimum concentrations of the nanoparticles had a positive effect on the morphological and biometric indicators of sprouts. The activity of oxidase enzymes was measured and it showed a reversible nature of oxidative stress. An increase in superoxide dismutase activity and a decrease in catalase activity by less than 30% indicates the stress resistance of rice sprouts and the absence of phytotoxic effects of the nanopowders. The presence of these metals in the seedling homogenate was determined to define the toxic effect. The electron microscopic analysis of the partition of metals in the tissues of experimental plants did not reveal significant deviations from control values. The experiments were performed using scientific equipment of Regional Center for Collective Use of Probe Microscopy in Ryazan State Radio Engineering University.

Key words: ultrafine powders; nanoparticles; biological activity; cobalt; copper.

Сведения об авторах: Обидина Инна Вячеславовна, ORCID: 0000-0002-7235-6415, Scopus Author ID: 57215004004, SPIN-код: 8087-7620, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия, inna.obidina@mail.ru; Чурилов Геннадий Иванович, ORCID: 0000-0002-4056-9248, Scopus Author ID: 16462685500, SPIN-код: 2096-4817, д-р биол. наук, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия, genchurilov@yandex.ru; Полищук Светлана Дмитриевна, ORCID: 0000-0001-8482-7045, Scopus Author ID: 56085894600, SPIN-код: 9988-2972, д-р техн. наук, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань,

Россия, svpolishuk@mail.ru; Тарапа Алексей Юрьевич, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия, Zendekrussia@gmail.com; Гомозова Софья Сергеевна, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия, sophya-00@yandex.ru; Рыбин Николай Борисович, ORCID: 0000-0003-2000-0158, ResearcherID: A-6908-2014, Scopus Author ID: 36448662500, SPIN-код: 5980-2083, канд. ф.-м. наук, Региональный центр зондовой микроскопии коллективного пользования Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина, г. Рязань, Россия, rcpm-rgrtu@yandex.ru; Амплеева Лариса Евгеньевна, ORCID: 0000-0001-5699-0048, Scopus Author ID: 57209319180, SPIN-код: 3267-8206, канд. биол. наук, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. venelona@gmail.com.

About the authors: Obidina Inna Vyacheslavovna , ORCID: 0000-0002-7235-6415, Scopus Author ID: 57215004004, SPIN-код: 8087-7620, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, inna.obidina@mail.ru; Churilov Gennady Ivanovich, ORCID: 0000-0002-4056-9248, Scopus Author ID: 16462685500, SPIN-code: 2096-4817, Dr. habil., Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, genchurilov@yandex.ru; Polischuk Svetlana Dmitrievna, ORCID: 0000-0001-8482-7045, Scopus Author ID: 56085894600, SPIN-code: 9988-2972, Dr. habil., Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, svpolishuk@mail.ru; Tarara Alexey Yuryevich, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, Zendekrussia@gmail.com; Gomozova Sofya Sergeevna Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, sophya-00@yandex.ru; Rybin Nikolai Borisovich, ORCID: 0000-0003-2000-0158, ResearcherID: A-6908-2014, Scopus Author ID: 36448662500, SPIN-code: 5980-2083, Ph.D., Laboratory of Electron Microscopy Chief, Regional Center for Probe Microscopy of collective use, Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, Russia, rcpm-rgrtu@yandex.ru; Ampleeva Larisa Evgenievna, ORCID: 0000-0001-5699-0048, Scopus Author ID: 57209319180, SPIN-code: 3267-8206, Ph.D., Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, venelona@gmail.com.

Введение

Нанотехнологии получают бурное развитие, и их влияние на развитие экономики, повышение качества жизни – несомненно. Помимо использования ультрадисперсных порошков (УДП) металлов в качестве новых конструкционных материалов и катализаторов, возрос интерес к применению их в сельском хозяйстве, животноводстве, медицине. По утверждению экспертов, основанному на проведенных за несколько лет исследованиях, нанотехнологии обладают огромным потенциалом. Они меняют взгляд на использование стимуляторов роста растений, подавление патогенной микрофлоры растений и животных, процессы заживления и восстановления [1; 8; 9; 12]. Определены основные направления применения нанопорошков в растениеводстве. Предпосевная обработка семян рапса, вики, свеклы, пшеницы, огурцов, кукурузы, хлопчатника, картофеля, диспергированной суспензией УДП железа повышает урожайность этих культур по сравнению с контрольными образцами. Определение состава питательных веществ в растениях, выращенных из обработанных семян, показывает качественные изменения, в частности, улучшение аминокислотного состава [10].

Многолетние исследования подтверждают высокую биологическую и физиологическую активность нанопорошков [6]. Частицы металлов в ультрадисперсном состоянии способны проникать через клеточные мембраны, принимать участие в окислительно-восстановительных реакциях, изменять содержание микроэлементов [5]. Металлы в ультрадисперсном состоянии пролонгированно воздействуют на минеральное питание, углеводный и азотный обмен, синтез аминокислот, реакции фотосинтеза и дыхания [4].

До недавнего времени интенсивная агрономия предполагала внесение в почву минеральных солей в качестве удобрений. Образующиеся в результате этого в почве анионы солей оказывают негативное воздействие на почвенный состав вследствие их увеличения в составе растений, что в конечном итоге неблагоприятно для потребителей. В этом случае использование УДП для микроэлементного воздействия на растения исключает отрицательное влияние различных анионов. Кроме того, токсичность солей оказалась в 4–10 раз выше токсичности чистых металлов [8].

Научные достижения позволяют детально изучить воздействие наночастиц на качество сельхозпродукции, воды и в целом на среду обитания и здоровье человека. Это связано с малой величиной частиц ультрадисперсных металлов, их способностью проникать в ткани и клетки и вступать в химические взаимодействия. В связи с увеличением коммерческих продуктов при производстве которых используются наноструктурные материалы, оценка токсичности наноматериала-

лов должна получать больше внимания, чем когда-либо прежде, встает вопрос поиска способа обнаружения наноразмерных систем, особенно широко используемых в промышленности.

Целью наших исследований является изучение влияния нанокристаллических порошков меди и кобальта на морфофизиологические и биометрические показатели проростков риса, а также изучение их токсического воздействия на исследуемое растение.

Материалы и методы исследования

Биологическая активность нанопорошков металлов зависит от различных факторов: способа их получения, размера частиц, концентрации раствора. Используемые в нашей работе нанопорошки кобальта и меди получены методом химического осаждения гидроксидов металлов с последующим низкотемпературным восстановлением их в токе водорода. Средний размер частиц составил 30–50 нм.

Катионы, образуемые железом, кобальтом, медью, входят в состав карбоксилазы, полипептидазы, аминопептидазы и других биологически активных веществ, необходимых для дыхания клетки, синтеза белков и обмена веществ в целом [11].

Кобальт. Содержание кобальта в земной коре невысокое, около 18 мг/кг. В природных средах он находится в виде растворимых солей, содержащих Co^{2+} и Co^{3+} , может также образовывать комплексный анион $\text{Co}(\text{OH})^{3-}$. С увеличением значения pH среды взаимодействие кобальта с минеральными и органическими компонентами почвы усиливается, а доступность микроэлемента для растений снижается.

В тканях растений находится в ионной и комплексной форме. Основная функция кобальта связана с его участием в фиксации атмосферного азота. Входит в состав коэнзима кобаламина (витамин B_{12}), метионинсинтетазы (синтез метионина, синтез белка), рибонуклеотидредуктазы (катализатор восстановления рибонуклеотидов до дезоксирибонуклеотидов, синтез ДНК и деление клеток), метил-коэнзим А-мутаза (синтез гема), которые необходимы для симбиотических микроорганизмов, усваивающих азот.

Кобальт способствует репродукции листьев растений, влияет на увеличение мезофилла, столбчатой и губчатой ткани. Благодаря переменной валентности кобальт участвует в окислительно-восстановительных реакциях, регулирует цикл Кребса, дыхание, энергетический обмен, биосинтез белка и полинуклеотидов. Стимуляция роста растений объясняется участием кобальта в регуляции баланса фитогормонов: ауксина и этилена.

Отмечено влияние кобальта на интенсивность фотосинтеза, а также увеличение содержания аскорбиновой кислоты в растениях. Недостаток кобальта может вызвать нарушения азотистого обмена, уменьшение в листьях количества хлорофилла, каротиноидов, витамина Е. Для риса кобальт наиболее важен на стадии кущения и выметывания метелок.

Медь. Медь выполняет роль катализатора в ферментативных процессах или входит в состав медьсодержащих ферментов: регулирует углеводный белковый обмен, катализирует окисление аскорбиновой кислоты, увеличивает процесс фотосинтеза, дыхания, препятствует разрушению хлорофилла в клетках. Медь участвует в регуляции гормонального баланса, входит в состав множества оксидаз, пластоцианинов, церулоплазмينا и регулирует большинство окислительно-восстановительных процессов. Она повышает устойчивость растений к полеганию, засухе, морозо- и жаростойкость [7]. Недостаток меди при выращивании риса вызывает бледность листьев, неполноценный выход метелки из влагалища, что резко снижает урожайность.

В качестве объекта исследований был выбран представитель злаковых – рис. Эта культура занимает одно из первых мест по потреблению населением, выращивается в южных областях и играет ведущую экономическую роль. Заинтересованность в изучении влияния нанопорошков на выращивание данной культуры выражают и наши вьетнамские партнеры. Рис имеет большую потребность во влаге, особенно на стадии прорастания. Эта культура широко распространена, ее возделывают и используют с древних времен. Семена риса сбалансированы по аминокислотному составу, отличаются прекрасными вкусовыми качествами и имеют высокую усвояемость. Крахмал, полученный из рисового зерна, является сырьем в текстильной, медицинской и парфюмерной индустрии. В сельском хозяйстве на корм животным используют рисовую солому. Не менее ценно использование ее для изготовления бумаги, картона, веревок, мешков, корзин и других подобных изделий. Урожайность риса, в зависимости от сорта и области выращивания, составляет 69–80 ц/га.



Рис. 1. Проростки риса

Результаты и их обсуждение

Для определения влияния нанопорошков меди и кобальта на всхожесть, прорастание и развитие проростков риса использовали водные суспензии кобальта и меди. Суспензии объемом по 500 мл готовили из расчета каждого УДП на га посевной площади: 1 г/га, 0,1 г/га, 0,01 г/га. Диспергирование нанопорошков металлов готовили в ультразвуковой ванне (Град 13-35). Растворы УДП обрабатывали ультразвуком при максимальной мощности в течение 15 мин.

При проведении эксперимента брали партии по 1000 семян риса сорта Длиннозерный. Каждая партия семян выдержана в растворе соответствующей концентрации в течение 15 мин и помещена в грунт, состоящий из смеси почвы и глины в пропорции 1:3. В лотки с грунтом равномерно на расстоянии 1 см распределили обработанные семена, слегка заглубляя. Затем в лотки добавили отстоянной воды до уровня 1–3 мм над грунтом. Лотки с обработанными и контрольными семенами поместили в термостат с температурой 30°C. Через 3 дня в каждой партии было подсчитано количество проростков и определена всхожесть и энергия прорастания. С 4-го дня лотки находились в лабораторных условиях на открытой поверхности при температуре 25°C и естественном освещении. Через 10 дней проростки были извлечены из почвы, промыты водой, просушены и взвешены. В каждой исследуемой партии определено количество растений с наибольшими и наименьшими показателями, измерены массы надземной и подземной частей, длины зеленой и корневой части проростков (табл. 1, 2).

Из приведенных данных следует, что воздействие нанокристаллического кобальта наиболее благоприятно при минимальной концентрации. Под действием УДП меди лучшая всхожесть и энергия прорастания выявлена при максимальной концентрации, а наибольшая длина наземной и подземной частей проростков – при минимальной.

Таблица 1

Зависимость биометрических и морфофизиологических показателей ростков риса от воздействия наночастиц

Варианты	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	10-дневные проростки			
			Длина проростка, мм	Длина корней, мм	Масса надземного ростка, г	Масса подземного ростка, г
контроль	72,0±0,1	76,1±0,2	86±0,4	100±0,3	0,22±0,004	0,04±0,0041
Cu 1 г/га	83,8±0,2	85,2±0,1	158±0,6	101±0,4	0,29±0,004	0,09±0,004
Cu 0,1 г/га	73,5±0,3	74,0±0,4	100±0,7	80±0,7	0,19±0,009	0,06±0,005
Cu 0,01 г/га	76,5±0,3	75,5±0,1	154±0,4	133±0,6	0,28±0,007	0,09±0,006
Co 1 г/га	63,1±0,2	70,5±0,2	101±0,8	95±0,2	0,25±0,009	0,08±0,007
Co 0,1 г/га	76,1±0,1	76,5±0,3	160±0,3	123±0,3	0,29±0,009	0,08±0,009
Co 0,01 г/га	97,5±0,3	98,5±0,2	120±0,6	127±0,5	0,27±0,002	0,09±0,002

Таблица 2

Соотношение минимальных и максимальных показателей ростков риса при взаимодействии с НП металлов

Варианты	Процент растений с длиной ниже средней	Мин. длина проростка, мм	Мин. длина корня, мм	Процент растений с длиной выше средней	Макс. длина проростка, мм	Макс. длина корня, см
контроль	20	65±0,72	100±0,74	30	100±0,46	100±0,44
Cu 1 г/га	10	65±0,21	95±0,60	15	220±0,50	100±0,31
Cu 0,1 г/га	15	40±0,52	60±0,37	15	160±0,56	100±0,56
Cu 0,01 г/га	10	51±0,65	32±0,25	25	200±0,69	170±0,39
Co 1 г/га	15	55±0,48	90±0,85	25	130±0,48	150±0,28
Co 0,1 г/га	5	40±0,31	50±0,33	15	200±0,73	110±0,19
Co 0,01 г/га	10	40±0,09	30±0,20	20	160±0,19	170±0,22

Наибольший процент растений с максимальными длинами ростка и корня, а также фактическая длина наземной и подземной частей зафиксированы при минимальных концентрациях порошков меди и кобальта.

Очевидно, что металлы в наноразмерном состоянии, благодаря малому размеру частиц и способности к диффузии, способны на стадии прорастания семян проникать во внутриклеточные структуры корней и ростков. Увеличение энергии прорастания, всхожести, силы роста и других показателей отражает уровень обменных процессов, протекающих в семенах и проростках. Эффективность предпосевной обработки семян ультрадисперсными порошками металлов определяется на основании регистрируемых закономерностей в ответных реакциях при прорастании и развитии проростков.

Металлы в ультрадисперсном состоянии обладают принципиально иными свойствами в сравнении с металлами в их обычном виде. Помимо изменения оптических, электрических, магнитных свойств, параметров решетки наночастицы обладают развитой удельной поверхностью. Они активно вступают в химические взаимодействия с белковыми молекулами, образуют комплексы с органическими соединениями, требующими изучения их свойств и прогнозирования возможного токсического эффекта [2].

Механизм токсического действия наночастиц заключается в развитии комплекса реакций оксидативного стресса, вызванного их проникновением внутрь клетки [5]. Следствием является некроз и апоптоз отдельных клеток, угнетение физиологического статуса в целом. Экспресс-диагностика фитотоксичности наноматериалов основана на доступных методиках оценки биохимических и морфофизиологических показателей и не требует дорогостоящего молекулярно-клеточного анализа [14].

Именно биохимический статус растения является критерием его адаптивной устойчивости. Многокомпонентная антиоксидантная защита, существующая в клетках растений, поддерживает динамическое равновесие между образованием активных форм кислорода (АФК) и их ликвидацией. Наиболее важными высокомолекулярными компонентами клеток растений, непосредственно

обезвреживающими АФК, являются ферменты [13]. Оксидоредуктазы, в частности пероксидаза, играют ключевую роль в поддержании молекул в восстановленном состоянии, что является одним из основных условий для нормального существования живых организмов. В связи с этим современные авторы предлагают использовать измерение активности ферментов, как диагностический признак оценки устойчивости растений к действию стрессовых факторов.

Для определения активности ферментов проростки каждой партии разделены на три части для получения экстрактов. Навеску растительных образцов массой 800 мг охлаждают и растирают фарфоровым пестиком в ступке с добавлением в 0,5 мл охлажденного экстракционного буфера. Гомогенат помещают в центрифужную коническую пробирку и центрифугируют в течение 30 мин при 15000 g. Пробы помещают в холодильник. Материалом для исследования является супернатант (надосадочная жидкость) полученная из гомогената растительной ткани. Супернатант каждой партии делится на четыре части для проведения измерений по каждому ферменту, каждой концентрации с целью получения статистически достоверных данных.

Определение активности супероксиддисмутазы в растительных тканях. Принцип метода: в результате аутоокисления кверцетина в присутствии ТЕМЕД (тетраметилендиамин) в аэробных условиях происходит гиперация супероксидного анион-радикала, который в присутствии СОД подвергается дисмутации. Это проявляется в торможении реакции окисления кверцетина.

Реактивы: ЭДТА 0,5 мм раствор, ТЕМЕД 0,05М раствор, бикарбонатный буфер рН 10, кверцетин (97%) 0,5М раствор.

	холостая проба	контроль	опыт
раствор №1	0,5 мл	0,5 мл	0,5 мл
Буфер рН 10,0	0,5 мл	0,5 мл	0,5 мл
Дистиллированная Н ₂ О	2,0 мл	1,9 мл	1,8 мл
Биологический материал	–	–	0,1 мл
Кверцетин 0,5 М раствор	–	0,1 мл	0,1 мл

Исследования проводились на фотометре при $\lambda = 406$ нм. Замеры осуществляли через 10 мин.

Таблица 3

Активность супероксиддисмутазы (в усл. ед. акт./г сырой ткани) в корнях и ростках риса под воздействием нанопорошков кобальта (Co) и меди (Cu)

Варианты	Корни		Ростки	
	абс. знач.	% к контр.	абс. знач.	% к контр.
контроль	1,46875	–	1,925926	–
Cu 1 г/га	1,633333	+ 11,21	2,038462	+ 5,84
Cu 0,1 г/га	1,548387	+ 5,42	2,16	+ 12,15
Cu 0,01 г/га	1,507937	+ 2,67	1,987897	+ 3,22
Co 1 г/га	1,540193	+ 4,86	2,211382	+ 14,82
Co 0,1 г/га	1,633333	+ 11,22	2,02682	+ 5,24
Co 0,01 г/га	1,548387	+ 5,42	1,981132	+ 2,87

Супероксиддисмутаза первой выступает в процессе защиты от окислительных повреждений, обрывая окисление клеточных макромолекул еще на стадии иницирования. Неблагоприятные факторы повышают образование активных форм кислорода, в том числе и радикалов супероксида. Наименьшее приращение СОД к контролю наблюдается при минимальной концентрации наночастиц меди и крайних (наибольшей и наименьшей) концентрациях кобальта (табл. 3). Активность супероксиддисмутазы зависит от стадии развития и физиологического статуса растения, напряженности стрессового фактора. Действие супероксиддисмутазы вызывает образование в клетке пероксида водорода, который в свою очередь угнетает работу фермента и, как следствие, ее эффективность зависит от деятельности других компонентов системы защиты, способных удалять пероксид водорода.

Определение активности пероксидазы в растительных тканях. Принцип метода основан на измерении оптической плотности продуктов реакции, образовавшихся при окислении гваякола за определенный промежуток времени (продукт окисления тетрагваякол).

Реактивы: 0,15М ортофосфатный буфер pH 5,4, 0,15% раствор перекиси водорода, раствор гваякола (0,05% гваякол в 70°C этаноле 12,5 мг в 25 мл).

	контроль	исследуемая проба
Буфер pH 6,7	1,5 мл	1,5 мл
Биологический материал	0,5 мл	0,5 мл
Дистиллированная H ₂ O	0,5 мл	-
0,05% спиртовой раствор гваякола	0,5 мл	0,5 мл

Исследования проводились на фотометре при $\lambda = 470$ нм. Перед началом измерений в каждую пробирку добавляли 0,5 мл перекиси водорода. Замеры осуществляли через 5 минут.

Активность каталазы (табл. 5) под действием нанопорошков кобальта и меди уменьшается в корнях и ростках проростков риса, однако характер изменений в данных частях отличается. В ростках активность каталазы, оставаясь ниже контроля, с повышением концентрации нанопорошка кобальта до 1 г/га возрастает и становится выше контроля. От общей закономерности отклоняется показатель активности пероксидазы (табл. 4). С увеличением концентрации кобальта в ростках активность уменьшается, а в корнях возрастает.

Таблица 4

Активность пероксидазы (в ед. опт.пл/г сырой ткани • сек) в корнях и ростках риса под воздействием нанопорошков кобальта (Co) и меди (Cu)

Варианты	Корни		Ростки	
	абс. знач.	% к контр.	абс. знач.	% к контр.
контроль	0,004615	–	0,010038	–
Cu 1 г/га	0,005063	+ 9,70	0,011139	+ 10,97
Cu 0,1 г/га	0,0048	+ 4,00	0,012038	+ 19,93
Cu 0,01 г/га	0,004835	+ 4,75	0,010175	+ 1,36
Co 1 г/га	0,0055	+ 19,17	0,010884	+ 24,53
Co 0,1 г/га	0,005031	+ 9,01	0,011	+ 9,59
Co 0,01 г/га	0,0045	– 2,50	0,0125	+ 8,44

Определение активности каталазы в растительных тканях. Принцип метода основан на определении скорости разложения перекиси водорода каталазой исследуемого образца с образованием воды и кислорода.

Реактивы: фосфатный буфер pH 7,8; 10 мм/л раствор перекиси водорода.

	контроль	исследуемая проба
фосфатный буфер pH, 8,7	2,5 мл	2,6 мл
Биологический материал	-	0,02 мл
дистиллированная H ₂ O	0,1мл	–
Перекись водорода	0,4 мл	0,4 мл

Исследования проводились на спектрофотометре при $\lambda = 230$ нм. Перекись водорода вносились перед началом измерений. Замеры осуществляли через 30 сек в течение 5 мин.

Таблица 5

Активность каталазы (в усл. ед. акт./г сырой ткани) в корнях и ростках риса под воздействием нанопорошков кобальта (Co) и меди (Cu)

Варианты	Корни		Ростки	
	абс. знач.	% к контр.	абс. знач.	% к контр.
контроль	0,004431818	–	0,048068182	–
Cu 1 г/га	0,004090909	– 7,62	0,047727273	– 0,71
Cu 0,1 г/га	0,005113636	– 15,38	0,046590909	– 3,07
Cu 0,01 г/га	0,003522727	– 20,51	0,043181818	– 10,17
Co 1 г/га	0,004204545	– 5,13	0,051136364	+ 6,38
Co 0,1 г/га	0,003409091	– 23,08	0,038977273	– 18,91
Co 0,01 г/га	0,00375	– 15,38	0,038409091	– 20,09

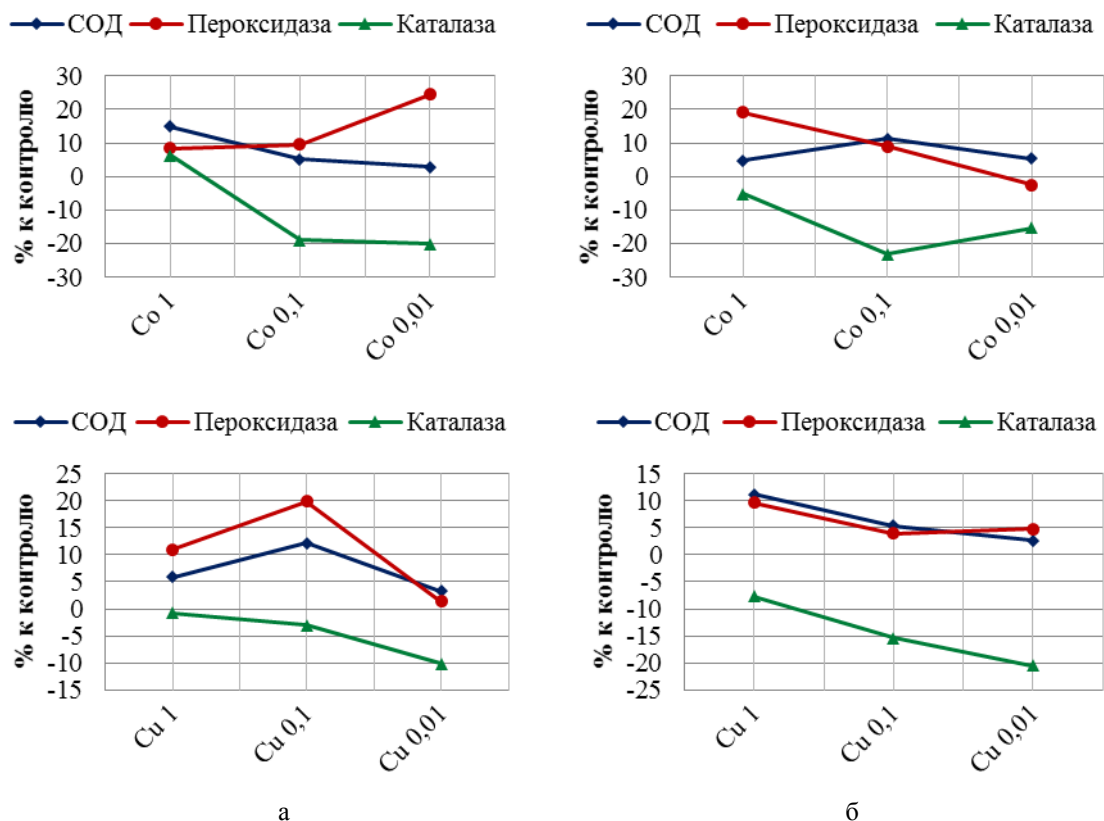


Рис. 2. Активность ферментов: супероксиддисмутазы, пероксидазы, каталазы (в усл. ед. акт /г сырой ткани) в ростках риса под воздействием нанопорошков кобальта (Co) и меди (Cu) а) в ростках, б) в корнях

Стрессоустойчивость растительного организма может определяться по работе оксидантной системы клетки: активности пероксидазы и каталазы, которая свидетельствует о жизнеспособности растений. Данные ферменты конкурируют за субстрат – перекись водорода – и взаимозависимы. Повышение активности пероксидазы угнетает активность каталазы. Но данные ферменты имеют различное сродство к субстрату, и при низком содержании пероксида катализатором выступает пероксидаза, а при повышении концентрации катализирует процессы каталаза.

На данный момент критерием токсикологической оценки фитотоксичности любых наноматериалов является отклонение показателей на 30% и более. Нанопорошки кобальта и меди, применяемые в нашей работе для обработки семян риса, повысили активность пероксидазы и снизили активность каталазы, но данные изменения не выходили за установленные показатели (рис. 2). Максимальное уменьшение активности наблюдалось у каталазы под воздействием кобальта в концентрации 0,1 г/га и составляло 23%.

Микроэлементный состав растений, выращенных из семян, прошедших предпосевную обработку нанопорошками кобальта и меди, определяли с помощью рентгеновского энергодисперсионного анализатора IncaX-Max20 (OxfordInsr., USA) в составе растрового электронного микроскопа JSM6610LV (Jeol, Japan) со следующими характеристиками: ускоряющее напряжение – 15 кВ, низковакуумный режим, давление в рабочей камере – 30 Па, исследуемый сигнал – характеристическое рентгеновское излучение, рабочее (фокусное) расстояние – 10 мм, размер пятна – 60 отн. ед. (рис. 3). Измерения выполнены в лаборатории аналитических исследований Регионального Центра Зондовой Микроскопии коллективного пользования при Рязанском государственном радиотехническом университете.

Данное исследование показало изменение концентраций важных макро- и микроэлементов в исследуемых образцах (табл. 6, рис. 4, 5), которое непосредственно повлияло на увеличение биометрических показателей растений, обработанных УДП металлов.



Рис. 3. Растровый электронный микроскоп (РЭМ) с энергодисперсионным анализатором и атомно-силовым микроскопом (АСМ)

Таблица 6

Элементный состав ростков риса, выращенных в условиях эксперимента

элемент	% содержания элемента в различных частях проростков риса					
	корень, контроль	стебель, контроль	корень, обработан 0,1 г УДП кобальта	стебель, обработан 0,1 г УДП кобальта	корень, обработан 0,1 г УДП меди	стебель, обработан 0,1 г УДП меди
Si	2,4	6,9	1,5	8,9	1,7	4,5
K	0,8	3,3	1,2	2,6	4,5	4,0
P	0,1	0,5	0,1	0,7	0,1	0,4
Fe	0,7	0,1	0,5	0,3	0,5	0,3
Mg	0,4	0,1	0,9	0,3	0,6	0,2
Na	0,3	0,1	0,6	0,5	0,6	0,2

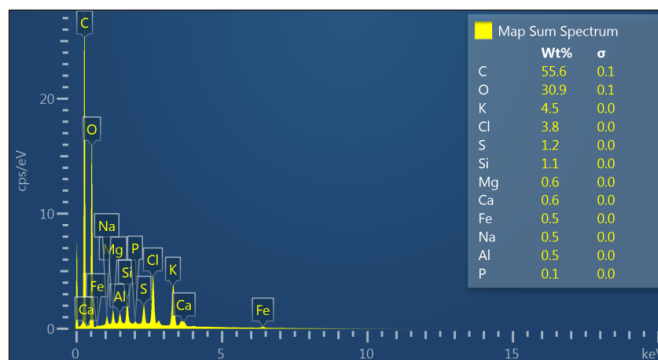
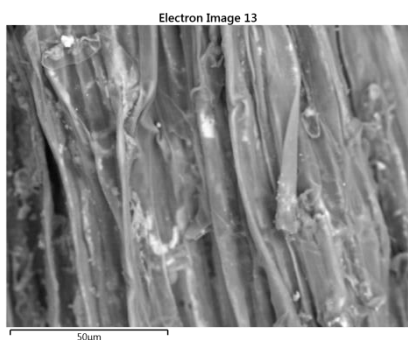


Рис. 4. Корень риса

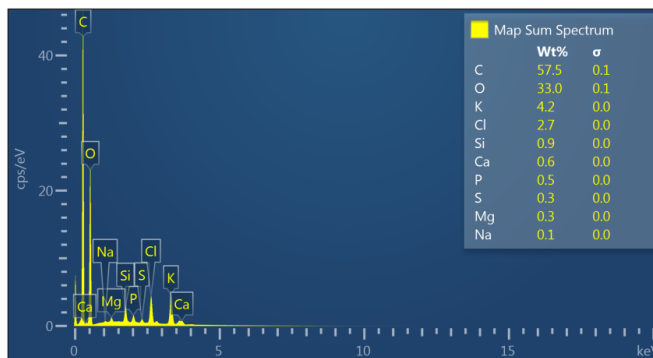
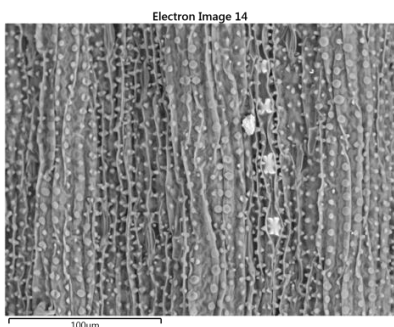


Рис. 5. Стебель риса

Нанопорошки кобальта и меди способствовали увеличению в корнях проростков магния и натрия, тем самым активизируя процессы фотосинтеза и увеличения синтеза углеводов. Превышение над контролем содержания калия и фосфора улучшает транспортную функцию, дыхание и создание энергетического резерва клетки.

Выводы

Минимальные концентрации, 0,1–0,01 г/га, ультрадисперсных меди и кобальта привели к увеличению всех морфометрических показателей, положительно влияли как на всхожесть, так и на развитие проростков. С повышением активности пероксидазы – активность каталазы снижалась. Совокупность этих изменений определяет стрессоустойчивость и жизнеспособность растений. В целом, изменение активности СОД, пероксидазы и каталазы в ростках и корнях проростков риса под действием нанопорошков исследуемых металлов в концентрациях 0,1 г/га и 0,01 г/га не вызывает стресса и не является токсичным.

Синергизм кобальта и меди проявляется в увеличении в корнях и ростках исследуемых растений жизненно важных микро- и макроэлементов. Элементный анализ образца гомогената проростков растений группы, экспонированной наночастицами Со и Си размерами 30–50 нм практически не определяет в тканях накопление данных элементов (рис. 4, 5).

Биотестирование наночастиц на растительных объектах позволяет, используя экономичные методы исследований, за короткие сроки получить результаты «положительного» воздействия ультрадисперсных суспензий металлов. Чувствительность растений к внешним воздействиям превышает таковую у животных объектов, поэтому на растительных объектах с высокой степенью достоверности можно изучать специфичность воздействия УДП, дозозависимость и экотоксичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословская О. А., Сизова Е. А., Полякова В. С., Мирошников С. А., Лейпунский И. О., Ольховская И. П., Глущенко Н. Н. Изучение безопасности введения наночастиц меди с различными физико-химическими характеристиками в организм животных // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 2. С. 124–127.
2. Гусев А. А., Акимова А. О. Влияние высокодисперсных частиц различной природы на ранние стадии онтогенеза растений рапса (*Brassica napus*) // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 5. С. 11.
3. Давронов К. С., Усмонов Р. М., Кучкаров К. К. Рост и развитие растений хлопчатника под влиянием ультрадисперсных порошков железа и меди // Сельскохозяйственная биология. 2006. Т. 41. № 3. С. 58–61.
4. Зотова Е.С. Исследование строения и свойств ультрадисперсных (нано-) порошков на основе меди, магния и железа, обладающих биологической активностью: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 23 с.
5. Короткова А. М., Лебедев С. В., Каюмов Ф. Г., Сизова Е. А. Морфологические изменения у пшеницы (*Triticum vulgare* L.) под влиянием наночастиц металлов (Fe, Cu, Ni) и их оксидов (Fe₃O₄, CuO, NiO) // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 172–182.
6. Куцкир М. В. Определение экологической безопасности наноматериалов на основе морфофизиологических и биохимических показателей сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Рязань, 2014. 23 с.
7. Максименко Е. П., Шеуджен А. Х. Научные основы применения комплексных микроудобрений в рисоводстве // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 107. С. 1102–1125.
8. Маслоброд С. Н., Миргород Ю. А., Бородин В. Г., Борщ Н. А. Влияние водных дисперсных систем с наночастицами серебра и меди на прорастание семян // Электронная обработка материалов. 2014. № 4. С. 103–112.
9. Паничкин Л. А., Райкова А. П. Использование нанопорошков металлов для предпосевной обработки семян с.-х. культур // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2009. № 1. С. 59–65.
10. Чурилов Г.И., Амплеева Л.Е. Биологическое действие наноразмерных металлов на различные группы растений. Рязань: РГАТУ. 2010.
11. Чурилов Г. И., Амплеева Л. Е., Назарова А. А., Полищук С. Д. Влияние кобальта на физиологическое состояние и морфобиохимические показатели крови животных // Российский медико-биологический вестник им. академика ИП Павлова. 2007. Т. 15. № 4. С. 34–42.
12. Bellantone M., Williams H. D., Hench L. L. Broad-spectrum bactericidal activity of Ag₂O-doped bioactive glass // Antimicrobial agents and chemotherapy. 2002. V. 46. № 6. P. 1940–1945. <https://doi.org/10.1128/AAC.46.6.1940-1945.2002>

13. Kuk Y. I. et al. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants // *Crop Science*. 2003. V. 43. № 6. P. 2109–2117. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2109>

14. Song H. M., Ye P. D., Ivanisevic A. Elastomeric nanoparticle composites covalently bound to Al₂O₃/GaAs surfaces // *Langmuir*. 2007. V. 23. № 18. P. 9472–9480. <https://doi.org/10.1021/la700979r>

REFERENCES:

1. Bogoslovskaya, O. A., Sizova, E. A., Polyakova, V. S., Miroshnikova, S. A., Leipunsky, I. O., Olkhovskaya, I. P., & Glushchenko, N. N. (2009). Studying of safety of copper nanoparticles introduction with different physical-chemical characteristics into animals' organism. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, (2). 124-127. (In Russian).

2. Gusev, A. A., & Akimova, A. O. (2013). Vliyaniye vysokodispersnykh chastits razlichnoi prirody na rannie stadii ontogeneza rastenii rapsa (*Brassica napus*). *Internet-zhurnal Naukovedenie*, (5). 11. (In Russian).

3. Davronov, K. S., Usmonov, P. M., & Kuchkarov, K. K. (2006). Rost i razvitiye rastenii khlopchatnika pod vliyaniem ul'tradispersnykh poroshkov zheleza i medi. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 41(3), 58-61. (In Russian).

4. Zotova, E. S. (2008). Issledovanie stroeniya i svoystv ul'tradispersnykh (nano-) poroshkov na osnove medi, magniya i zheleza, obladayushchikh biologicheskoi aktivnost'yu: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow. (In Russian).

5. Korotkova, A. M., Lebedev, S. V., Kayumov, F. G., & Sizova, E. A. (2017). Morfofiziologicheskie izmeneniya u pshenitsy (*Triticum vulgare* L.) pod vliyaniem nanochastits metallov (Fe, Cu, Ni) i ikh oksidov (Fe₃O₄, CuO, NiO). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 52(1). 172-182. (In Russian).

6. Kutsir, M. V. (2014). Opredeleniye ekologicheskoi bezopasnosti nanomaterialov na osnove morfofiziologicheskikh i biokhimicheskikh pokazatelei sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ryazan'. (In Russian).

7. Maksimenko, E. P., & Sheudzhen, A. Kh. (2015). Nauchnye osnovy primeneniya kompleksnykh mikroudobrenii v risovodstve. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (107). 1102-1125. (In Russian).

8. Maslobrod, S. N., Mirgorod, Yu. A., Borodina, V. G., & Borshch, N. A. (2014). Vliyaniye vodnykh dispersnykh sistem s nanochastitsami serebra i medi na prorastaniye semyan. *Elektronnaya obrabotka materialov*, (4), 103-112. (In Russian).

9. Panichkin, L. A. & Raikova, A. P. (2009). Ispol'zovaniye nanoporoshkov metallov dlya predposevnoi obrabotki semyan s.-kh. kul'tur. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, (1), 59-65. (In Russian).

10. Churilov, G. I., & Ampleeva, L. E. (2010). Biologicheskoye deystviye nanorazmernykh metallov na razlichnyye gruppy rastenii. Ryazan. (In Russian).

11. Churilov, G. I., Ampleeva, L. E., Nazarova, A. A., & Polishchuk, S. D. (2007). Vliyaniye kobal'ta na fiziologicheskoye sostoyaniye i morfobiokhimicheskoye pokazateli krovi zhivotnykh. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik im. akademika IP Pavlova*, 15(4), 34-42. (In Russian).

12. Bellantone, M., Williams, H. D., & Hench, L. L. (2002). Broad-spectrum bactericidal activity of Ag₂O-doped bioactive glass. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 46(6), 1940-1945. <https://doi.org/10.1128/AAC.46.6.1940-1945.2002>

13. Kuk, Y. I., Shin, J. S., Burgos, N. R., Hwang, T. E., Han, O., Cho, B. H., ... & Guh, J. O. (2003). Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. *Crop Science*, 43(6), 2109-2117. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2109>

14. Song, H. M., Ye, P. D., & Ivanisevic, A. (2007). Elastomeric nanoparticle composites covalently bound to Al₂O₃/GaAs surfaces. *Langmuir*, 23(18), 9472-9480. <https://doi.org/10.1021/la700979r>

Обидина И. В., Чурилов Г. И., Полищук С. Д., Тарара А. Ю., Гомозова С. С., Рыбин Н. Б., Амплеева Л. Е. Определение стимулирующего и токсического воздействия нанопорошков меди и кобальта на проростки риса // Вестник Нижневартговского государственного университета. 2020. № 2. С. 42–52. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/06>

Obidina, I. V., Churilov, G. I., Polishchuk, S. D., Tarara, A. Yu., Gomozova, S. S., Rybin, N. B., & Ampleeva, L. E. (2020). Stimulating and toxic effects of copper and cobalt nanopowders on rice seedlings. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 42–52. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/06>

дата поступления: 03 марта 2020 г.

дата принятия: 17 апреля 2020 г.

© Обидина И.В., Чурилов Г.И., Полищук С.Д., Тарара А.Ю., Гомозова С.С., Рыбин Н.Б., Амплеева Л.Е.

П. Н. Макаров, Т. А. Макарова, З. А. Самойленко, Н. М. Гулакова

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ

P. N. Makarov, T. A. Makarova, Z. A. Samoilenko, N. M. Gulakova

A TECHNOLOGY OF ESSENTIAL OIL CROPS GROWTH IN CLOSED SYSTEMS

Аннотация. В статье представлены результаты выращивания эфиромасличных культур в светокультуре гидропонным методом, этапы и агротехнические приемы конвейерного производства пряно-вкусовых растений, таких как укроп (сорт Goldkrone), петрушка (сорт Fidelio) и базилик (сорт LEMONA). Продукция растениеводства в северные районы Тюменской области, в связи со слабым развитием земледелия в регионе, поступает с юга России. Поэтому для обеспечения населения севера свежей продукцией круглый год необходимы эффективные технологии выращивания растений. Показано, что при выращивании растений в закрытой системе лучшие условия в светокультуре для эфиромасличных культур складываются при светодиодном освещении белыми диодами, световой поток которых составляет 8000 лм. Полив растений удобрением Фертика в сочетании с кальцинитом и режим полива (15 мин через каждые 24 ч) позволяют добиться высокой продуктивности и урожайности культивируемых растений. При одновременном конвейере производства укропа, петрушки и базилика необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата: температура воздуха в помещении днем +23°C, температура раствора +20°C, влажность воздуха – не менее 60%. Разработанная методика позволяет круглогодично выращивать пряно-вкусовые растения в режиме 8–9 оборотов в год.

Ключевые слова: эфиромасличные культуры; гидропонный метод; светокультура; продуктивность; технология выращивания.

Сведения об авторах: Макаров Петр Николаевич, ORCID: 0000-0003-1002-9264, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, Сургут, Россия, pn7264@yandex.ru; Макарова Татьяна Анатольевна, ORCID: 0000-0001-6341-2801, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, tatiana.makarowa2010@yandex.ru; Самойленко Зоя Анатольевна, ORCID: 0000-0003-2268-4987, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, zoyasl@yandex.ru; Гулакова Наталья Михайловна, ORCID: 0000-0002-9254-9070, Сургутский государственный университет, Сургут, Россия, gulakova_natalia@mail.ru.

About the authors: Makarov Petr Nikolaevich, ORCID: 0000-0003-1002-9264, Ph.D., Surgut State University, Surgut, Russia, pn7264@yandex.ru; Makarova Tatyana Anatolyevna, ORCID: 0000-0001-6341-2801, Ph.D., Surgut State University, Surgut, Russia, tatiana.makarowa2010@yandex.ru; Samoilenko Zoya Anatolyevna, ORCID: 0000-0003-2268-4987, Ph.D., Surgut State University, Surgut, Russia, zoyasl@yandex.ru; Gulakova Natalia Mikhailovna, ORCID: 0000-0002-9254-9070, Surgut State University, Surgut, Russia, gulakova_natalia@mail.ru

Введение

Для обеспечения населения Ханты-Мансийского автономного округа круглый год собственной свежей, экологически чистой растениеводческой продукцией необходим поиск эффективных технологий выращивания растений в условиях северных территорий. Регион в силу своих особен-

ностей, суровых климатических условий, дефицита плодородных почв относится к зоне рискованного земледелия, где наиболее продуктивным является выращивание ценных пищевых продуктов питания (зеленных, эфиромасличных культур) методом малообъемной гидропоники в условиях светокультуры. Основными преимуществами метода, по сравнению с традиционными, являются: выращивание растений без почвы с применением искусственных субстратов различного происхождения; отсутствие патогенной почвенной микрофлоры и вредителей; использование малых площадей для непрерывного культивирования на севере овощных и лекарственных растений в широком ассортименте; возможность применения готовых долговечных гидропонных систем, многоспектральных светодиодных фитоламп, источников искусственного освещения; комплексных минеральных удобрений с учетом биологических особенностей культуры; возможность управления ростом и развитием растений на протяжении всего вегетационного периода; тщательный контроль качества готовой продукции [7; 10].

В мире существует несколько технологий выращивания эфиромасличных растений в условиях гидропоники. Обычно применяются системы глубоководных культур или система плавающей платформы (Deep Water Culture, DWC), техника питательного слоя (Nutrient Film Technique, NFT), техника глубинного потока (Deep Flow Technique, DFT), а также система подтопления (приливно-отливная Ebb and Flow) [13]. При сравнении выращивания базилика, салата и других листовых овощей на гидропонике методами DWT и NFT-систем, больший прирост продукции с единицы площади показали DWT-системы [14]. Тем не менее выбор типа гидропонной системы зависит от многих факторов, в том числе от сорта выращиваемой культуры и экономического фактора. Преимуществом системы подтопления является обеспечение отличной оксигенации корней. Подъем воды вытесняет отработанный воздух из корневой зоны, а понижение воды обеспечивает поступление нового свежего воздуха. Поэтому данный тип гидропоники очень популярен для выращивания зеленных культур.

Собственно, технологии культивирования растений этими методами в литературе имеют обобщающий характер, условия довольно сильно варьируют в зависимости от выбора культуры и сорта растений, субстрата, источников излучения и конструкции гидропонной установки [8]. При разработке конструкции малообъемной гидропонной установки производитель зачастую использует комплектующие и расходные материалы, исходя из экономической эффективности, поэтому в каждом конкретном случае требуется разработка технологии выращивания, адаптированной к данному инженерному решению.

В настоящее время в России активно проводятся работы по оптимизации режима освещения и питания растений для получения качественной витаминной зелени, разработке эффективных агротехнических приемов по снижению накопления нитратов и тяжелых металлов в реализуемой продукции [4]. Установлено, что искусственное освещение является одним из важных факторов для выращивания растений. Оптическое излучение позволяет регулировать его параметры: интенсивность освещения, продолжительность светового периода, спектральный состав, что влияет на фоторецепторы. Источниками излучения в светокультуре растений служат электрические лампы различных типов [9]. Необходимо, чтобы в их спектре были все участки видимого излучения с преобладанием красных, зеленых, синих и фиолетовых лучей, а также небольшая доля длинного ультрафиолетового и короткого инфракрасного света. Известно различное действие красного, синего или зеленого света на морфогенетические и метаболические процессы растений [2]. В растениях, выращенных под красным или синим светом, обнаруживаются изменения метаболизма углерода, происходящие уже за секундные экспозиции. При этом синий свет активирует включение CO₂ в аминокислоты и органические кислоты, а красный – в углеводы и в особенности в крахмал. Известно, что присутствие синего света в световом потоке предохраняет аппарат фотосинтеза от преждевременного старения, что благоприятно сказывается на биологическом и хозяйственном урожае [5]. Большое внимание уделяется качеству растениеводческой продукции, выращенной в закрытых системах, в том числе содержанию нитратов [1; 6; 11; 12; 14].

В связи с актуальностью проблемы для севера Тюменской области нами была проведена работа по разработке агротехники выращивания эфиромасличных культур гидропонным методом в условиях светокультуры. В задачи исследования входило изучение влияния спектрального состава света и режима питания на продуктивность растений; разработка агротехники выращивания растений в вертикальных установках гидропонным методом.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в лаборатории Сургутского государственного университета на гидропонной установке с системой подтопления. Растения выращивали в несколько циклов, отличающихся освещением и режимом питания. Первый цикл: светодиодное освещение красными и синими диодами в соотношении 32:16, красный спектр – 625 нм, синий – 470 нм, световой поток около 2973 лм, полив основным комплексным удобрением с микроэлементами – Фертикеа Гидро (0,6 г/л) и кальциевой селитрой – Кальцинит (0,4 г/л); второй цикл: светодиодное освещение белыми диодами, световой поток около 8000 лм, режим питания как в первом цикле; третий цикл: светодиодное освещение красными, синими и белыми диодами (32:16:32), световой поток около 6573 лм, полив основным комплексным удобрением с микроэлементами, за 11 дней до срезки снижение концентрации удобрений в два раза (Фертикеа Гидро (0,3 г/л), Кальцинит (0,2 г/л)); четвертый цикл: светодиодное освещение белыми диодами, световой поток около 8000 лм, режим питания как в третьем цикле [3]. Для гидропонной системы применяли полностью растворимое в воде удобрение FERTICARE™ HYDRO и Yara Liva™ CALCINIT™ Нитрат кальция (Кальциевая селитра).

Объектами исследования являлись пряно-вкусовые растения – укроп (сорт Goldkrone), петрушка (сорт Fidelio) и базилик (сорт Lemona). Все сорта включены в Госреестр для выращивания в открытом и защищенном грунте. Укроп и петрушка относятся к растениям семейства Зонтичные, базилик – однолетнее травянистое растение семейства Яснотковые. Исследуемые культуры широко применяются в пищевой, консервной, ликеро-водочной, мыловаренной промышленности и в медицине.

Культивируемые растения отличаются своими сортовыми особенностями. Укроп сорта Goldkrone – стебель зеленый, длинный, среднего диаметра, с наличием антоциана и со слабым восковым налетом. Лист среднего размера, зеленый, треугольный, среднерассеченный, со слабым восковым налетом. Конечные сегменты листа средние. Центральный зонтик плоский, среднего диаметра, со средним количеством лучей. Масса одного растения при уборке на зелень 75–80 г, на специи – 110–120 г. Ароматичность средняя. Товарная урожайность на зелень 2,9–3,4 кг/м², на специи – 4,6–5,1 кг/м².

Петрушка сорта Fidelio – розетка листьев вертикальная, высотой до 40 см. Лист зеленый, длинный, от треугольной до широкотреугольной формы, волнистость края слабая. Облиственность малой плотности, с малым числом листьев. Черешок длинный, средней толщины до толстого, без антоциана. Зелень хорошо отрастает после срезки. Урожайность зелени за три срезки – 3,25 кг/м².

Базилик сорта Lemona – растение средней высоты, средней плотности. Лист яйцевидной формы, мелкий, антоциановая окраска отсутствует. Волнистость края отсутствует или очень слабая. Черешок короткий. Окраска цветков белая. Аромат лимонный.

Результаты и их обсуждение

В период 2018–2019 гг. эфиромасличные культуры выращивали в закрытой системе по следующей технологии. Посев семян проводили в кубики из минеральной ваты, предварительно пропитанные питательным раствором, на глубину 0,3–0,5 см, располагая семена равномерно по всей площади кубика. Количество семян в зависимости от культуры составляет: базилик – 10–15, петрушка и укроп – 20–30 шт./кубик. Проращивание семян проводили в семенном отделении при температуре воздуха +24°C, относительной влажности воздуха 85%, в темноте.

По мере прорастания семян через 5–6 суток (базилик), 6–7 суток (укроп), 8–10 суток (петрушка) сеянцы помещали в основное культивационное помещение на стеллажи гидропонной установки вертикального типа и выращивали до полного созревания растений (получения готовой продукции). На поддоне размером 130×50 см размещали 40 кубиков (4 ряда по 10 кубиков), расстояние между кубиками составляло 12×12 см.

Условия выращивания растений в культивационном помещении в лаборатории поддерживались в пределах: температура воздуха в помещении +23°C, температура раствора +20°C, влажность воздуха 50–60%, рН питательного раствора 5,8–6,0, электропроводность 0,8–1,8 мСм/см, продолжительность освещения – 16 ч/сут, подача питательного раствора в течение 15 мин через каждые 24 ч, замена питательного раствора – через 7 дней. При этом созревание растений в закрытой системе в зависимости от культуры происходило через 38–40 сут (укроп), 35–38 (базилик),

45–50 (петрушка). На выходе продукции в указанные сроки растения обладали следующими биометрическими показателями (табл.).

Таблица

Биометрические показатели эфиромасличных культур 1–4 циклов выращивания гидропонным методом

Культура	Циклы выращивания	Признаки				Масса растений, г	
		Высота растения, см	Количество листьев, шт.	Длина листа, см	Ширина листа, см	Средняя масса 1 растения в кубике	Всего в кубике
Базилек (<i>Ocimum basilicum</i> L.), сорт Lemon	1-й цикл (ц)	17,16±1,29	20,64±2,49	7,43±0,45	2,98±0,14	1,80±0,28	10,42±2,26
	2-й цикл	38,94±1,74	41,35±3,68	11,11±0,48	3,71±0,13	5,95±0,73	33,94±6,47
	3-й цикл (ц)	26,89±2,30	35,48±4,90	9,96±0,58	3,76±0,22	5,25±0,87	31,78±7,52
	4-й цикл	42,06±1,82	51,90±5,72	11,39±0,56	4,31±0,20	10,66±2,08	87,18±16,01
Петрушка (<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) A.W. Hill), сорт Fidelio	1-й цикл (ц)	17,46±0,68	4,40±0,14	16,39±0,64	6,74±0,23	1,27±0,11	10,19±1,23
	2-й цикл	29,89±0,99	4,71±0,16	28,98±0,98	8,34±0,28	3,58±0,33	36,38±7,28
	3-й цикл (ц)	18,20±1,03	3,92±0,19	16,94±1,11	6,33±0,31	1,48±0,23	11,17±2,08
	4-й цикл	22,63±0,69	4,65±0,26	21,44±0,67	8,66±0,53	2,85±0,35	24,04±2,86
Укроп (<i>Anethum graveolens</i> L.), сорт Goldkrone	1-й цикл (ц)	26,80±0,81	6,70±0,23	23,10±0,67	6,46±0,28	1,69±0,17	16,05±1,63
	2-й цикл	39,31±1,37	7,08±0,25	36,22±1,39	9,28±0,50	5,59±0,72	53,58±10,07
	3-й цикл (ц)	34,16±0,78	6,40±0,23	31,00±0,78	8,37±0,37	3,49±0,29	39,45±3,67
	4-й цикл	36,03±1,71	7,13±0,49	32,39±1,48	9,59±0,67	5,22±0,60	75,23±5,74

Примечание: ц – освещение растений цветными светодиодами; доверительная вероятность $P = 0.95$.

Отмечено, что наибольшей продуктивностью (высота растений, количество листьев, масса растений) обладают растения, выращенные под белыми светодиодами. Лучшие условия для базилика в светокультуре складывались в четвертом цикле: светодиодное освещение белыми диодами, световой поток около 8000 лм, полив основным комплексным удобрением, за 11 дней до срезки снижение концентрации удобрений в два раза (рис. 1, 2) [3]. В соответствующих условиях выращивания к моменту уборки растение в среднем достигает высоты 42,06 см, формирует 51,90 листьев, выход продукции составляет 5,36 кг/м².



Рис. 1. Базилик (*Ocimum basilicum* L.), сорт Lemon на 38 день после посева: под белыми (слева) и красно-сине-белыми (справа) фитолампами



Рис. 2. Базилик (*Ocimum basilicum* L.), сорт Lemon: масса растений в кубике (г), выращенных под красно-сине-белыми фитолампами, на 38 день после посева

Для петрушки оптимальными являются условия второго цикла: светодиодное освещение белыми диодами, световой поток около 8000 лм, полив основным комплексным удобрением (рис. 3, 4). В соответствующих условиях выращивания к моменту уборки растение в среднем достигает высоты 29,89 см, формирует 4,71 листьев, выход продукции составляет 2,24 кг/м².

Для укропа оба цикла (2 и 4) являются оптимальными (рис. 5, 6). К моменту уборки растение в среднем достигает высоты 36,03–39,31 см, формирует от 7,08 до 7,13 листьев, выход продукции составляет 4,63 кг/м².



Рис. 3. Петрушка (*Petroselinum crispum* Mill.) A.W. Hill), сорт Fidelio на 41-й день после посева: под белыми (слева) и красно-синими (справа) фитолампами



Рис. 4. Петрушка (*Petroselinum crispum* Mill.) A.W. Hill), сорт Fidelio: масса растений в кубике (г), выращенных под красно-синими фитолампами, на 41-й день после посева



Рис. 5. Укроп (*Anethum graveolens* L.), сорт Goldkrone на 40-й день после посева: под белыми (слева) и красно-синими (справа) фитолампами



Рис. 6. Укроп (*Anethum graveolens* L.), сорт Goldkrone: масса растений в кубике (г), выращенных под красно-синими фитолампами, на 40-й день после посева

Заключение

В условиях севера Тюменской области, в связи с природно-климатическими особенностями региона, массовое производство эфиромасличных культур возможно только в закрытых системах, методом гидропоники. Важную роль при выращивании растений играет выбор сорта. Основные требования к сорту – это, прежде всего, высокая всхожесть и энергия прорастания семян, высокоурожайность, устойчивость к болезням, хорошие вкусовые качества. Всем этим требованиям соответствуют сорта Goldkrone (укроп), Fidelio (петрушка), Lemona (базилик), которые включены в Госреестр для выращивания в открытом и защищенном грунте. В светокультуре лучшие условия для базилика, укропа и петрушки складываются при светодиодном освещении белыми диодами, световой поток которых составляет 8000 лм. Комплексное удобрение Фертика в сочетании с кальцинитом и режим полива (15 мин через каждые 24 ч) позволяют добиться хороших результатов (по продуктивности и урожайности) при выращивании данных сортов растений. При одновременном конвейере производства укропа, петрушки и базилика необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата: температура воздуха в помещении днем +23°C, температура раствора +20°C, влажность воздуха – не менее 60%, pH питательного раствора 5,8–6,0. Такие условия выращивания являются приемлемыми для культивируемых растений. Разработанная ме-

тодика позволяет круглогодично выращивать пряно-вкусовые растения в режиме 8–9 оборотов в год. Таким образом, данную технологию можно рекомендовать для выращивания эфиромасличных культур в северном регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробейков Г. А. Нитраты вокруг нас. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 64 с.
2. Клешнин А. Ф., Лебедева Е. В., Протасова Н. Н., Шелудько Н. Н. Выращивание растений при искусственном освещении. М.: Сельхозгиз, 1959. 128 с.
3. Макаров П. Н., Макарова Т. А., Самойленко З. А., Гулакова Н. М. Выращивание зеленных культур в закрытых системах // Безопасный Север – чистая Арктика: сб. ст. II Всерос. науч.-практ. конф. Сургут, 2019. С. 166–181.
4. Медведев С. С., Осмоловская Н. Г., Батов А. Ю., Разумова Н. А., Шлычков В. С. Выращивание экологически чистой растительной продукции без почвы в многоярусных гидропонных установках. СПб.: Петрополис, 1996. 68 с.
5. Ничипорович А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. М.: Наука, 1972. С. 511–527.
6. Орлова Е. Е., Банкаина Т. А., Орлова Н. Е., Лабутова Н. М., Банкин М. П., Якконен К. Л. Практикум по агроэкологии. СПб., 2011. 148 с.
7. Aires A. Hydroponic Production Systems: Impact on Nutritional Status and Bioactive Compounds of Fresh Vegetables // Vegetables: Importance of Quality Vegetables to Human Health. 2018. С. 55.
8. Benton J. Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. 1,1 // CRC Press. 2014.
9. Litvin A. G., Currey C. J., Wilson L. A. Effects of Supplemental Light Source on Basil, Dill, and Parsley Growth, Morphology, Aroma, and Flavor // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2020. V. 145. № 1. P. 18–29. <https://doi.org/10.21273/JASHS04746-19>
10. Maboko M. M., Du Plooy C. P. High-plant density planting of basil (*Ocimum basilicum*) during summer/fall growth season improves yield in a closed hydroponic system // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science. 2013. V. 63. № 8. P. 748–752. <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.861921>
11. Roupheal Y., Giordano M., Pannico A., Di Stasio E., Raimondi G., El-Nakhel C. et al. Nutritional quality of hydroponically grown basil in response to salinity and growing season // International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1227. 2017. P. 693–698. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.88>
12. Sgherri C., Ceconami S., Pinzino C., Navari-Izzo F., Izzo R. Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil // Food chemistry. 2010. V. 123. № 2. P. 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.058>
13. Sharma N. et al. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview // Journal of Soil and Water Conservation. 2018. V. 17. № 4. P. 364–371. <http://dx.doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>
14. Walters K. J., Currey C. J. Hydroponic greenhouse basil production: Comparing systems and cultivars // HortTechnology. 2015. V. 25. № 5. P. 645–650. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.5.645>

REFERENCES

1. Vorobejkov, G. A. (1992). Nitraty vokrug nas. St. Petersburg. (In Russian)
2. Kleshnin, A. F., & Lebedeva, E. V., Protasova N.N., Shelud'ko N.N. (1959). Vyrashchivanie rastenii pri iskusstvennom osveshchenii. Moscow. (In Russian)
3. Makarov, P. N., Makarova, T. A., Samojlenko, Z. A., & Gulakova, N. M. (2019). Vyrashchivanie zelenykh kul'tur v zakrytykh sistemah. In *Bezopasnyj Sever–chistaya Arktika: sb. st. II Vseros. nauch.-prakt. konf.*, Surgut. 166-181. (In Russian)
4. Medvedev, S. S., Osolovskaya N. G., Batov, A. Yu., Razumova, N. A., & Shlychikov, V. S. (1996). Vyrashchivanie ekologicheskii chistoi rastitel'noi produktsii bez pochvy v mnogoyarusnykh gidroponnykh ustanovkakh. St. Petersburg. (In Russian)
5. Nichiporovich, A. A. (1972). Fotosinteticheskaya deyatel'nost' rastenii i puti povysheniya ikh produktivnosti. In *Teoreticheskie osnovy fotosinteticheskoi produktivnosti*, Moscow. 511-527. (In Russian)
6. Orlova, E. E., Bankina, T. A., Orlova, N. E., Labutova, N. M., Bankin, M. P., & Yakkonen K. L. (2011). Praktikum po agroekologii. St. Petersburg. (In Russian)
7. Aires, A. (2018). Hydroponic Production Systems: Impact on Nutritional Status and Bioactive Compounds of Fresh Vegetables. *Vegetables: Importance of Quality Vegetables to Human Health*, 55.
8. Benton, J. (2014). Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. 1,1. *CRC Press*.
9. Litvin, A. G., Currey, C. J., & Wilson, L. A. (2020). Effects of Supplemental Light Source on Basil, Dill, and Parsley Growth, Morphology, Aroma, and Flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 145(1), 18-29. <https://doi.org/10.21273/JASHS04746-19>

10. Maboko, M. M., & Du Plooy, C. P. (2013). High-plant density planting of basil (*Ocimum basilicum*) during summer/fall growth season improves yield in a closed hydroponic system. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 63(8), 748-752. <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.861921>

11. Roupheal, Y., Giordano, M., Pannico, A., Di Stasio, E., Raimondi, G., El-Nakhel, C., ... & De Pascale, S. (2017, August). Nutritional quality of hydroponically grown basil in response to salinity and growing season. In *International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1227* (pp. 693-698). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.88>

12. Sgherri, C., Cecconami, S., Pinzino, C., Navari-Izzo, F., & Izzo, R. (2010). Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil. *Food chemistry*, 123(2), 416-422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.058>

13. Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4), 364-371. <http://dx.doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>

14. Walters, K. J., & Currey, C. J. (2015). Hydroponic greenhouse basil production: Comparing systems and cultivars. *HortTechnology*, 25(5), 645-650. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.5.645>

Макаров П. Н., Макарова Т. А., Самойленко З. А., Гулакова Н. М. Технология выращивания эфиромасличных культур в закрытых системах // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 53–59. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/07>

Makarov, P. N., Makarova, T. A., Samoilenko, Z. A., & Gulakova, N. M. (2020). A technology of essential oil crops growth in closed systems. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 53–59. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/07>

дата поступления: 16 января 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Макаров П.Н., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Гулакова Н.М.

И. Н. Турбина, Г. М. Кукурочкин

**АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ИНТРОДУЦЕНТОВ РАЗЛИЧНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
БОТАНИЧЕСКОГО САДА Г. СУРГУТА**

I. N. Turbina, G. M. Kukurichkin

**ADAPTATION POSSIBILITIES OF INTRODUCED
PLANTS OF VARIOUS ORIGIN IN CONDITIONS OF
BOTANICAL GARDEN AT SURGUT STATE UNIVERSITY**

Аннотация. Ботанический сад в г. Сургуте является самым северным в Западной Сибири и одним из самых северных ботанических садов в России, он является основным форпостом для продвижения новых агро- и биотехнологий на Крайний Север. В настоящее время коллекция декоративных растений Сургутского ботанического сада насчитывает около 200 видов и сортов травянистых растений, относящихся к 60 родам и 32 семействам, и около 210 видов, форм и культиваров древесных растений. Целью работы являлось изучение механизмов адаптации некоторых декоративных растений из коллекции ботанического сада с использованием современного портативного флуориметра DUALEX. Объекты исследований – пять представителей травянистых растений из рода *Iris* L. – *Iris hungarica* Waldst. &Kit., *Iris variegata* L., *Iris sibirica* L., *Iris glaucescens* Bunge, *Iris sulfurea* C. Koch. и восемь видов древесных растений из рода *Acer* L. – *Acer pseudoplatanus* L., *Acer rubrum* L., *Acer trautvetteri* Medw., *Acer tataricum* L., *Acer ukurunduense* Trautv. & C.A. Mey., *Acer spicatum* Lam., *Acer mandshuricum* Maxim., *Acer ginnala* Maxim. Диапазон азотного баланса (Nbi) у травянистых растений составил от 32,2 до 39,7, а содержание хлорофилла – от 48,1 до 58,6 мг/см². У древесных растений содержание хлорофилла (Chl) варьировало от 23,9 мг/см² (*Acer spicatum*) до 31,3 мг/см² (*Acer rubrum*), т. е. всего в 1,3 раза в пределах видов группы, произрастающих на одной экспозиции, а содержание флаванолов варьировало от 1,3 мг/см² у *Acer mandshuricum* до 1,9 мг/см² у *Acer ukurunduense*. Максимальные значения показателей Nbi, Chl у *Iris hungarica* и *Acer pseudoplatanus* являются реакцией адаптации к условиям произрастания и указывают на формирование защитных функций растений. Пигментный состав листьев декоративных растений свидетельствует об их удовлетворительном физиологическом состоянии, о чем говорит незначительное варьирование биохимических показателей в пределах изученных групп декоративных растений.

Ключевые слова: адаптация; биохимические показатели; ботанический сад; древесные растения; травянистые растения.

Abstract. The botanical garden in Surgut is the northernmost in Western Siberia and one of the northernmost botanical gardens in Russia. It is the major point for promoting new agricultural and biological technologies to the Far North. Currently, the collection of ornamental plants of the Surgut botanical garden comprises about 200 species and varieties of herbaceous plants belonging to 60 genera and 32 families, and about 210 species, forms and cultivars of woody plants. The research objective is to study the adaptation mechanisms of some ornamental plants from the collection of the botanical garden using the up-to-date portable flavonoid and chlorophyll meter DUALEX. The research objects are five species of herbaceous plants of genus *Iris* L. – *Iris hungarica* Waldst. &Kit., *Iris variegata* L., *Iris sibirica* L., *Iris glaucescens* Bunge, *Iris sulfurea* C. Koch. and eight species of woody plants of genus *Acer* L. – *Acer pseudoplatanus* L., *Acer rubrum* L., *Acer trautvetteri* Medw., *Acer tataricum* L., *Acer ukurunduense* Trautv. & C.A. Mey., *Acer spicatum* Lam., *Acer mandshuricum* Maxim., *Acer ginnala* Maxim. The range of nitrogen balance (Nbi) in herbaceous plants varied from 32.2 to 39.7, and the chlorophyll content was from 48.1 to 58.6 mg/cm². In woody plants, the content of chlorophyll (Chl) ranged from 23.9 mg/cm² (*Acer spicatum*) to 31.3 mg/cm² (*Acer rubrum*), i.e. only 1.3 times within the group species growing on one flank. The content of flavanols in woody plants ranged from 1.3 mg/cm² in *Acer mandshuricum* to 1.9 mg/cm² in *Acer ukurunduense*. The maximum values of Nbi, Chl indices for *Iris hungarica* and *Acer pseudoplatanus* are an adaptive reaction to growing conditions and indicate the formation of plantprotective functions. The pigment content of leaves in ornamental plants indicates their satisfactory physiological state, as evidenced by a slight variation in biochemical parameters among the tested groups of ornamental plants.

Key words: adaptation; biochemical parameters; botanical garden; woody plants; herbaceous plants.

Сведения об авторах: Турбина Ирина Николаевна, SPIN-код: 1928-1360, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, scilla3@yandex.ru; Кукуричкин Глеб Михайлович, SPIN-код: 2284-6279, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, lesnik72@mail.ru.

About the authors: Turbina Irina Nikolaevna, SPIN-code: 1928-1360, Ph.D., Surgut State University, Surgut, Russia, scilla3@yandex.ru; Kukurichkin Gleb Mikhailovich, SPIN-code: 2284-6279, Ph.D., Surgut State University, Surgut, Russia, lesnik72@mail.ru.

Введение

В последние годы приобрели актуальность исследования содержания растительных пигментов с использованием спектров отражения для получения количественных данных в пространственных и временных масштабах. За рубежом развиты исследования в области моделирования пигментов растений и их диагностических функций с использованием оптических методов дистанционного зондирования [16; 17; 18]. Пигменты растений (хлорофилл, флаваноиды, антоцианы) выполняют защитные функции, предохраняют растения от различных неблагоприятных воздействий [15]. Состояние пигментного комплекса влияет на устойчивость растительных организмов к стрессу. Стресс – это интегральный неспецифический ответ растения на повреждающее действие, направленный на выживание организма за счет мобилизации и формирования защитных систем. Устойчивость является конечным результатом адаптации [5].

Интродукционные исследования проводили в условиях Сургута, который расположен в среднетаежной зоне Западно-Сибирской равнины, характеризующейся резко континентальным климатом, с холодной продолжительной зимой и теплым коротким летом. По обеспечению влагой район находится в области достаточного увлажнения. Находясь на севере Азии, территория испытывает влияние влажных воздушных масс с Северного Ледовитого океана. Поэтому зима относительно сухая и морозная. В летний период доминируют северные ветра, однако в ясную погоду воздушные массы успевают прогреваться.

Ботанический сад в г. Сургуте является самым северным в Западной Сибири и одним из самых северных ботанических садов в России, он является основным форпостом для продвижения новых агро- и биотехнологий на Крайний Север, в т. ч. в арктические регионы, на принципах ступенчатой акклиматизации ценных видов и сортов растений.

В настоящее время коллекция декоративных растений Сургутского ботанического сада насчитывает около 200 видов и сортов травянистых растений, относящихся к 60 родам и 32 семействам, и около 210 видов, форм и культиваров древесных растений, она сформирована по систематическому принципу (родовыми комплексами), что позволяет сравнивать между собой морфологические особенности видов в пределах рода и семейства. Все растения зимуют в открытом грунте, без укрытия.

В культуре ботанического сада насчитывается 15 видов рода *Iris* L. и 10 культиваров *Iris sibirica* L., полученные из ботанических садов Новосибирска, Пензы, Махачкалы, Пятигорской эколого-ботанической станции БИН РАН.

Этот травянистый многолетник исключительно многообразен по количеству видов, сортов, диапазону цветовой гаммы. В природе насчитывается более 200 видов ирисов, распространенных в умеренных и отчасти в субтропических широтах всех континентов северного полушария – на открытых, солнечных местах, лишь небольшая часть видов – растения теневых и даже заболоченных местообитаний [9]. Во флоре России встречается около 60 видов [1].

Род *Acer* L. в коллекции представлен 49 экземплярами 15 видов различного географического происхождения. Всего в природе насчитывается около 150 видов, которые распространены в Европе, в Передней и Средней Азии, в Гималаях, Восточной Азии, в Северной и Центральной Америке. Многие виды этого рода довольно быстро растут, неприхотливы в уходе и обладают более высокой аккумулярующей способностью тяжелых металлов (свинец, кадмий) в листьях взрослых растений по сравнению с другими породами [10].

Целью исследования являлось изучение механизмов адаптации некоторых декоративных растений из коллекции ботанического сада СурГУ с использованием современного портативного флавоид- и хлорофиллометра DUALEX.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись пять представителей травянистых растений из рода *Iris* L. семейства *Iridaceae* Juss.

Iris hungarica Waldst. & Kit. (syn. *Iris versicolor* L.) (И1) – ирис разноцветный, является представителем североамериканской флоры. Произрастает на сырых лугах и болотах, по берегам озер и рек, в кустарниках теплоумеренной и субтропической зон северо-востока Канады и США [13]. Корневище ползучее, 8–10 см толщиной, образует рыхлую дерновину. Листья прикорневые, утолщенные посередине, но без резко выступающей средней жилки, к основанию с красноватым оттенком, 1,5–2,5 см шириной, 35–45 см длиной. Этот вид был привезен в 2018 г. из Горного ботанического сада (г. Махачкала).

Iris variegata L. (И2) – ирис пестрый, произрастает на сухих каменистых склонах, среди кустарников, в редколесьях, на лесных полянках, по опушкам дубрав юга теплоумеренной зоны Средней Европы, Балкан. Корневище 1–2 см толщиной. Прикорневые листья широко- или линейно-мечевидные, 15–25 см шириной, прямые или слегка серповидно изогнутые, с заметной продольной ребристостью в средней части пластинки, равны или ниже цветоноса. Один из первых видов, использованных при создании культурных форм ириса [7].

Iris sibirica L. (И3) – ирис сибирский, произрастает в Европе, Предкавказье, Малой Азии и Западной Сибири. Обитает на пойменных и лесных лугах, в березовых колках. Плотнoderновинный поликарпик [14]. Стебли 60–135 см высоты. Листья линейные, заостренные, короче стебля. Отрастает в начале июня, цветение во второй половине июля, в течение двух недель, вегетирует до снежного покрова. В культуре неприхотлив, устойчив. В коллекции три экземпляра, с различной окраской венчика, полученных в 2018 г. из Центрального сибирского ботанического сада (г. Новосибирск).

Iris glaucescens Bunge (И4) – ирис сизоватый, произрастает в полынно-дерновиннозлаковых степях на солонцеватых песках, сухих каменистых и щебнистых склонах немногочисленными популяциями на юге Западной Сибири, в Казахстане, Монголии и Китае. Рыхлокустовой поликарпик. Листья серповидно изогнуты, интенсивно сизые. В коллекции два экземпляра, поступивших в 2018 г. из Горного ботанического сада (г. Махачкала).

Iris sulfurea C. Koch. (syn *Iris inbricata* Lindl.) (И5) – ирис черепитчатый, встречается на горных лугах, на достаточно увлажненных (проточное увлажнение) каменистых склонах, нередко по обрывистым берегам горных рек в юго-восточных районах Закавказья, в Северном Иране, на высоте 800–2000 м н.у.м. Плотнoderновинный поликарпик. Он имеет широкие, мечеобразные, желто-зеленые или светло-зеленые листья до 30–40 см в длину и от 2 до 3 см в ширину; тонкий стебель овальной формы, с ветвями. Три экземпляра этого вида в 2019 г. получены из Пятигорской эколого-ботанической станции БИН РАН [8].

Вторую группу объектов исследования составили восемь видов древесных растений из рода *Acer* L. семейства *Sapindaceae* Juss. различного географического происхождения [3; 4; 6; 11].

Acer pseudoplatanus L. (К1) – клен ложноплатановый, или белый, или явор. Распространен в широколиственных лесах Южной и Центральной Европы, юго-западной Украины и Кавказа. В естественных условиях – высокоствольное дерево. При интродукции в северных регионах часто принимает форму кустарника. Листья до 15–17 см в диаметре, с 5 крупными округлыми лопастями, с верхней стороны темно-зеленые, с нижней – сизовато-белые, обычно волосистые. Требователен к почвенно-климатическим условиям. 2 экземпляра получены из Санкт-Петербурга в 2012 г. и 5 – из Светлогорска (Калининградская область) в 2016 г. Регулярно обмерзают до уровня снега, но интенсивно возобновляются. 4 группа зимостойкости.

Acer rubrum L. (К2) – клен красный Североамериканское не крупное дерево. Растет в лесах по берегам рек и болот, в ущельях и на сухих пониженных участках. Среднетеневынослив. Листья простые 3–5-лопастные, крупные (5–15 на 3,5–10 см), осенью желтые, оранжевые до ярко-пурпурных. 1 экземпляр получен из Санкт-Петербурга в 2013 г. 2–3 группа зимостойкости.

Acer trautvetteri Medw. (К3) – клен Траутфеттера, или высокогорный. Естественно произрастает в высокогорьях Кавказа. Небольшое дерево с толстым, саблевидно изогнутым в нижней части стволом. Крона широкояйцевидная или шаровидная. Теневынослив. Листья простые, в очертании широкояйцевидные, 9–14 см длиной и 11–16 см шириной, глубоко пятилопастные. Осенью листья приобретают ярко-красно-карминовую окраску. 2 экземпляра получены в 2019 г. из Горного ботанического сада (Дагестан). Группа зимостойкости пока не известна.

Acer tataricum L. (К4) – клен татарский, или черноклен, растет в европейской части России, на Кавказе, в Малой Азии, Иране; на опушках и в окнах широколиственных лесов, чаще на выруб-

ках, на высоких грибах в поймах рек. Небольшое дерево, обычно кустовидное. Листья цельные или слегка лопастные, 6–10 см длиной, яйцевидные, заостренные, по краю двоякопильчатые, сверху темно-зеленые, снизу светлее и по жилкам волосистые. Осенью от желтых, оранжево-желтых и пурпурных до коричневых. Теневынослив. Изредка встречается в озеленении и регулярно плодоносит. В коллекции Сургутского ботанического сада имеется несколько экземпляров, поступивших из Уфы в 2012 г., из Санкт-Петербурга в 2014 г., а также полученные из семян сургутской репродукции. 1 группа зимостойкости.

Acer ukurunduense Trautv. & C.A. Mey. (K5) – клен желтый, или укурундский. Ареал: Российский Дальний Восток, Япония, северо-восток Китая. Раскидистый кустарник или кустовидное дерево. Листья пальчато-пятилопастные, довольно жесткие, длиной 8–12 см и почти такой же ширины, опушенные, средняя лопасть значительно крупнее боковых. Осенью листва приобретает красивую яркую окраску, оттенки которой варьируются от светло-красных до коричнево-оранжевых и фиолетовых. Хорошо переносит затенение и в природе обычно встречается в верхнем кустарниковом ярусе хвойных лесов. Самый морозостойкий из дальневосточных кленов. 5 экземпляров получено из Санкт-Петербурга в 2016 г. 2–3 группа зимостойкости.

Acer spicatum Lam. (K6) – клен колосистый, является самым северным из видов клена, произрастающих в Северной Америке. Растет на опушках и в подлеске смешанных лесов, довольно хорошо переносит сильное затенение. В естественных условиях – кустарник или небольшое дерево. Листья простые, широко яйцевидные, 7–10 см длиной и 6–9 см шириной, со слабо сердцевидным основанием, неглубоко трех- или пятилопастные, толстые, мягкие, снизу опушены. Осенью листья окрашиваются в желто-оранжевые тона. 3 экземпляра получены из Уфы в 2012 г. 2 группа зимостойкости.

Acer mandshuricum Maxim. (K7) – клен маньчжурский, в природе растет в смешанных лесах на юге Российского Дальнего Востока, в Корее, Японии, Китае. Растет в долинных широколиственных и смешанных лесах, где местами господствует во 2 ярусе. Светолюбив. Дерево, часто кустовидное, с тройчатыми листьями, листочки длиной до 8 см и до 2,5 см шириной на длинных красноватых черешках. Осенью листья становятся пурпурно-красными. В коллекции Сургутского ботанического сада имеется два экземпляра, поступивших из Санкт-Петербурга в 2014 г. и Новосибирска в 2018 г. 2-3 группы зимостойкости.

Acer ginnala Maxim. (K8) – клен гиннала, или приречный, произрастает в широколиственных лесах Российского Дальнего Востока, в Японии и Китае. Деревья 5–7 м высотой, с трехлопастными листьями, центральная лопасть более длинная, боковые – короче, горизонтально распростерты или несколько вверх направленные, нередко почти цельные, яйцевидной формы. Осенью листья становятся малиново-красными. 3 экземпляра получены из Уфы в 2012 г. 1 группа зимостойкости. Цветет и плодоносит.

Для оценки повреждаемости древесных растений низкой температурой использовалась 5-балльная шкала С.Я. Соколова [12]: 1 – растение вполне зимостойко; 2 – у растения отмерзают концы побегов; 3 – отмерзают крупные ветви; 4 – отмерзает вся надземная часть до уровня снежного покрова (или почвы); 5 – растение не зимует, вымерзает с корнем.

Определение биохимических показателей (содержание флавонолов – Flv, мг/см², хлорофилла – Chl, мг/см² и индекса азотного баланса – Nbi) проводили с помощью инновационного аппарата DUALEX (Франция). Индекс азотного баланса растений Nbi (Nitrogen Balance Index) представляет собой соотношение количества хлорофилла и флавонолов. Выборку листьев делали с нескольких близко растущих растений, для древесных на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток, направленных условно на север, запад, восток и юг.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программных пакетов Excel MS Office-2016 и Statistica 10. Соответствие структуры данных закону нормального распределения оценивалось на основе критерия Шапиро–Уилка (для выборок $n < 30$). Производилась идентификация показателей Nbi, Chl, Flv на соответствие закону нормального распределения. Закон Гаусса подтвердился, поэтому дальнейшие исследования зависимостей производились методами параметрической статистики. Для сравнения двух независимых ненормально распределенных выборок использовали U-тест Манна–Уитни (*Mann-Whitney U-test*), который сравнивает не средние значения выборок, а суммы рангов по каждой из них. Сравнение двух независимых групп осуществлялось с использованием параметрического критерия t-тест Стьюдента для оценки наличия различий

между ними. Для сравнения нескольких независимых выборок видов клена по одному признаку использовали непараметрический дисперсионный анализ Крускала–Уоллиса и медианный тест (ANOVA *Kruskal-Wallis* and *Median test*).

Результаты и их обсуждение

Диапазон азотного баланса у травянистых растений составил от 32,2 до 39,7, а содержание хлорофилла – от 48,1 до 58,6 мг/см², с максимальным значением этих двух показателей у *Iris hungarica* (рис. 1). Это связано с действием стресса, вызванного нарушением водного режима растительного организма ириса разноцветного, который предпочитает довольно увлажненные местообитания, а в культуре недостаточное водоснабжение привело к нарушению экологических требований растений, что согласуется с литературными источниками [2]. Показатели содержания (Nbi, Chl) в листьях травянистых растений варьировали больше, чем содержание флавонолов, которое составило от 1,3 до 1,7 мг/см².

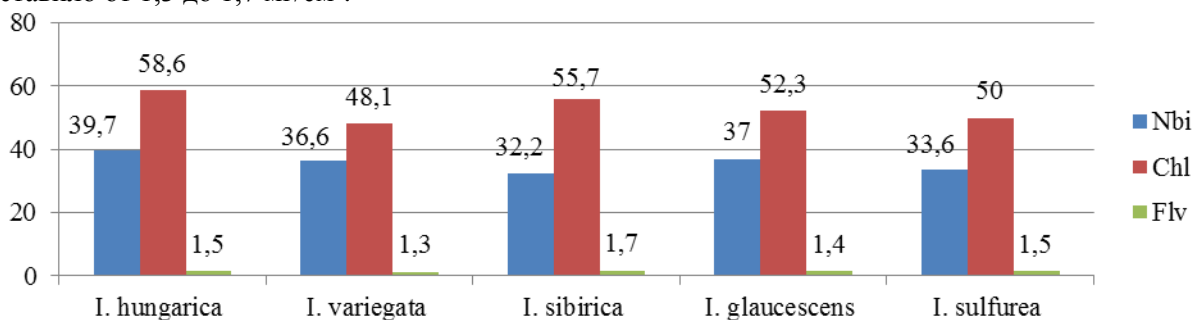


Рис. 1. Сравнительный анализ средних значений показателей (Nbi, Chl, Flv) в листьях травянистых растений рода *Iris* (август)

Аналогично у древесных растений максимальные значения (Nbi, Chl) отмечены у *Acer pseudoplatanus*, что является реакцией адаптации к условиям произрастания и указывает на повышение защитных функций растения (рис. 2). Стресс вызван климатическими факторами, так как явор регулярно обмерзает до уровня снега, а затем интенсивно возобновляется за вегетационный период.

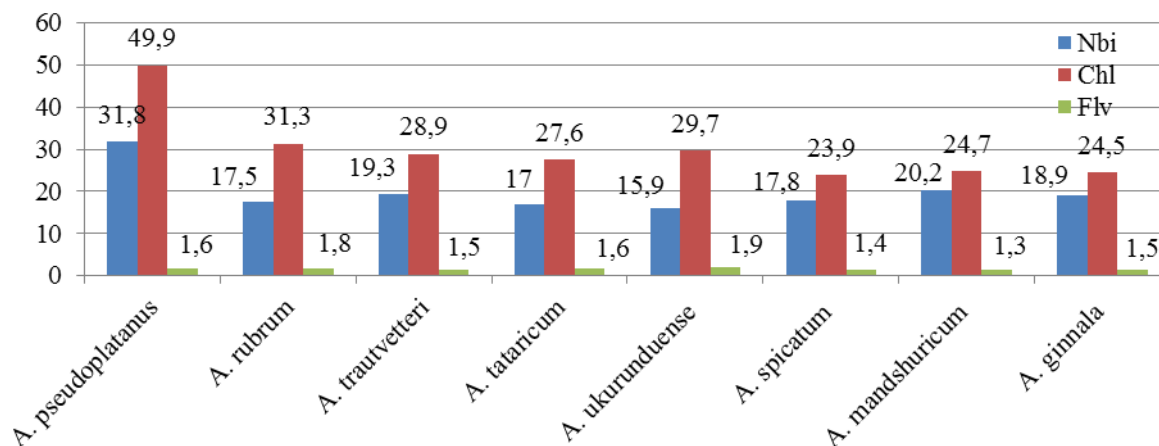


Рис. 2. Сравнительный анализ средних значений показателей (Nbi, Chl, Flv) в листьях древесных растений рода *Acer* (август)

Значение индекса азотного баланса (NBI) у остальных изученных видов изменялось незначительно – от 15,9 (*Acer ukurunduense*) до 19,3 (*Acer trautvetteri*). Данный показатель зависит от многих экологических факторов, а в нашем случае минимальное значение (NBI) клена укурундского является адаптационной реакцией к условиям достаточного освещения, так как он произрастает на открытом месте, без затенения.

Содержание хлорофилла варьировало от 23,9 мг/см² (*Acer spicatum*) до 31,3 мг/см² (*Acer rubrum*), т. е. всего в 1,3 раза в пределах видов группы, произрастающих на одной экспозиции (в одинаковых экологических условиях).

Содержание флавонолов в листьях древесных растений было невелико и варьировало от 1,3 мг/см² у *Acer mandshuricum* до 1,9 мг/см² у *Acer ukurunduense*.

Таким образом, исследованные группы неодинаково реагируют на условия среды произрастания. Пигментный состав листьев декоративных растений свидетельствует об их относительно высоком физиологическом статусе.

В полученных результатах достоверными были различия по содержанию хлорофилла и флавонолов при сравнении средних значений двух независимых групп декоративных растений, о чем свидетельствуют данные, приведенные в таблице.

Таблица

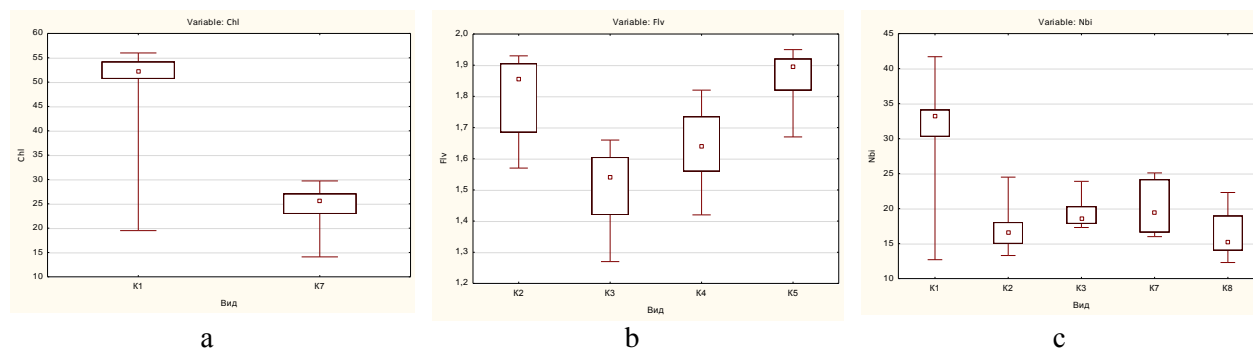
Результаты выполнения *t*-теста для независимых выборок

Показатель, вид	Mean	t-value	df	p	Valid N	Std. dev.	F-ratio	Variances	p	Variances
<i>Травянистые растения</i>										
Chl И1–И2	59,44	2,34	8	0,04	10	2,92	12,82		0,03	
	48,1					10,45				
Flv И1–И2	1,49	3,32	8	0,01	10	0,10	3,66		0,24	
	1,32					0,05				
Flv И1–И3	1,49	-3,48	8	0,008	10	0,10	1,48		0,70	
	1,73					0,12				
Flv И2–И3	1,32	-6,97	8	0,0001	10	0,05	5,41		0,13	
	1,73					0,12				
Flv И2–И5	1,32	-6,09	8	0,0003	10	0,05	2,39		0,40	
	1,49					0,03				
Flv И3–И4	1,73	5,26	8	0,0008	10	0,12	4,09		0,20	
	1,41					0,06				
Flv И3–И5	1,73	4,31	8	0,003	10	0,12	12,94		0,03	
	1,49					0,03				
<i>Древесные растения</i>										
Flv К1–К6	1,58	2,66	22	0,01	24	0,13	2,82		0,09	
	1,38					0,22				
Flv К7–К8	1,27	-3,88	38	0,0004	40	0,24	1,68		0,27	
	1,53					0,18				
Chl К2–К8	31,30	4,75	30	0,00005	32	5,20	3,04		0,03	
	24,46					2,99				
Chl К3–К8	28,88	4,86	30	0,00003	32	1,23	5,87		0,005	
	24,46					2,99				
Chl К5–К8	29,71	3,40	30	0,002	32	5,76	3,72		0,01	
	24,46					2,99				
Chl К2–К4	31,30	2,84	30	0,008	32	5,20	6,04		0,0007	
	27,60					2,12				
Chl К2–К6	31,30	2,96	22	0,007	24	5,20	1,73		0,38	
	23,94					6,84				

Примечание: Mean – средние значения для каждой группы; *t-value* – значение рассчитанного программой *t*-критерия Стьюдента; *df* – число степеней свободы; *p* – вероятность ошибки (критический уровень значимости принят равным $p < 0,05$); *Valid N* – объем выборки; *Std. dev.* – стандартное отклонение выборки; *F-ratio, Variances* – значение *F*-критерия Фишера, с помощью которого проверяется гипотеза о равенстве дисперсий в сравниваемых выборках; *P, Variances* – вероятность ошибки для *F*-теста Фишера.

При сравнении суммы рангов показателя Chl у двух независимых ненормально распределенных групп *Acer pseudoplatanus* и *Acer mandshuricum* выявлено наличие статистически значимой разницы между сравниваемыми выборками при $P = 0,001$ (рис. 3а). При анализе данных показателя Flv четырех видов: *Acer rubrum*, *A. trautvetteri*, *A. tataricum*, *A. ukurunduense* – и совокупностей

показателя Nbi пяти видов: *Acer rubrum*, *A. trautvetteri*, *A. tataricum*, *A. mandshuricum*, *A. ginnala* – наблюдаются различия между сравниваемыми группами, при $P < 0,05$ (рис. 3б, с).



*Примечание: Median – медиана; Percentile – процентиля 25–75%; min – минимальные значения показателя; max – максимальные значения показателя

Рис. 3. Диаграмма сравнения нескольких независимых групп по одному показателю: а – Chl, б – Flv, с – Nbi

Выводы

Все изученные интродуценты находятся в удовлетворительном физиологическом состоянии, о чем говорит незначительное варьирование биохимических показателей в пределах изученных групп декоративных растений.

Максимальные значения показателей Nbi – 39,7; Chl – 58,6 мг/см² (*Iris hungarica*) и Nbi – 31,8; Chl – 49,9 мг/см² (*Acer pseudoplatanus*) являются реакцией адаптации к условиям произрастания и указывают на формирование защитных функций растений.

Минимальное значение показателя Nbi – 15,9 у *Acer ukurunduense* является адаптационной реакцией к условиям достаточного освещения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (приказ № 1281 от 25.08.17 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Н. Б. Род *Iris* L. (Iridaceae) в России // *Turczaninowia*. 2008. Т. 11. № 2. С. 5–70.
2. Архангельская Г. П., Мухаев Б. А. Особенности адаптации ильмовых к почвенной засухе // Повышение устойчивости и долговечности защитных лесных насаждений. Волгоград, 1980. С. 72–81.
3. Булыгин Н. Е. Дендрология. Л.: Агропромиздат, 1991. 352 с.
4. Интродукция древесных растений в Сибири / науч. ред. И. Ю. Коропачинский. Новосибирск: Гео, 2017. 716 с.
5. Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. М.: Абрис, 2011. 783 с.
6. Мамаев С. А., Дорофеева Л. М. Интродукция клена на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 104 с.
7. Мамонтова Е. Н. Коллекция ирисов природной флоры, интродуцируемых в ботаническом саду Самарского государственного университета // Самарская Лука, 2007. Т. 16. № 3(21). С. 518–531.
8. Михеев А. Д. *Iris* L. // Конспект флоры Кавказа. СПб., 2006. Т. 2. С. 104–112.
9. Павлова Н. С. Касатик – *Iris* L. // Флора Российского Дальнего Востока. Владивосток, 2006. С. 277–279.
10. Панин С. И., Колесниченко Е. Ю., Морозова Т. С., Соловьева В. И. Оценка аккумуляции тяжёлых металлов древесными растениями полевых культур и лесополосы // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2014. № 1. С. 75–80.
11. Рязанова Н. А., Путенихин В. П. Клены в Башкирском Предуралье: биологические особенности при интродукции. Уфа: Гилем, 2012. 224 с.
12. Соколов С. Я., Связева О. А. География древесных растений. М.–Л.: Наука, 1965. 266 с.
13. Ткаченко К. Г. Виды рода *Iris* L. в коллекциях-экспозициях живых растений альпинария ботанического сада Петра Великого Ботанического института РАН // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле, 2013. Вып. 3. С. 35–43.
14. Фомина Т. И. Биологические особенности декоративных растений природной флоры в Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 179 с.
15. Bueno J. M., Sáez-Plaza P., Ramos-Escudero F., Jiménez A. M., Fett R., Asuero A. G. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: chemical structure, color, and intake of anthocyanins // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2012. V. 42. № 2. P. 126–151. <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>

16. Chen M., Blankenship R. E. Expanding the solar spectrum used by photosynthesis // *Trends in plant science*. 2011. V. 16. № 8. P. 427–431. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.011>
17. Quemada M., Gabriel J. L., Zarco-Tejada P. Airborne hyperspectral images and ground-level optical sensors as assessment tools for maize nitrogen fertilization // *Remote sensing*. 2014. V. 6. № 4. P. 2940–2962. <https://doi.org/10.3390/rs6042940>
18. Ritz T., Damjanović A., Schulten K., Zhang J. P., Koyama Y. Efficient light harvesting through carotenoids // *Photosynthesis Research*. 2000. V. 66. № 1-2. P. 125–144. <https://doi.org/10.1023/A:1010750332320>

REFERENCES

1. Alekseeva, N. B. (2008). Genus *Iris* L. (*Iridaceae*) in Russia. *Turczaninowia*, 11(2), 5-70. (In Russian).
2. Arkhangel'skaya, G. P., & Mukhaev, B. A. (1980). Osobennosti adaptatsii il'movykh k pochvennoi zasuhe. In *Povyshenie ustoychivosti i dolgovechnosti zashchitnykh lesnykh nasazhdenii*, Volgograd, 72–81. (In Russian).
3. Bulygin, N. E. (1991). *Dendrologiya*. Leningrad. (In Russian).
4. *Introduktsiya drevesnykh rastenii v Sibiri* (2017). red. I. Yu. Koropachinskii. Novosibirsk. (In Russian).
5. Kuznetsov, V. V., & Dmitrieva, G. A. (2011). *Fiziologiya rastenii*. Moscow. (In Russian).
6. Mamaev, S. A., & Dorofeeva, L. M. (2005). *Introduktsiya klena na Urale*. Ekaterinburg. (In Russian).
7. Mamontova, E. N. (2007). Kolleksiya irisov prirodnoi flory, introdutsiruemykh v botanicheskom sadu Samarskogo gosuniversiteta. *Samarskaya Luka*, 16(3(21)). 518–531. (In Russian).
8. Mikheev, A. D. (2006). *Iris L. Konspekt flory Kavkaza*. St. Petersburg. 2. 104-112. (In Russian).
9. Pavlova, N. S. (2006). Kasatik – *Iris L.* In *Flora Rossiiskogo Dal'nego Vostoka*. Vladivostok, 277–279. (In Russian).
10. Panin, S. I., Kolesnichenko, E. Yu, Morozova, T. S., & Solov'eva, V. I. (2014). Otsenka akumuliyatsii tyazhelykh metallov drevesnymi rasteniyami polezashchitnoi lesopolosy i polevymi kul'turami. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, (1). 75–80. (In Russian).
11. Ryazanova, N. A., & Putenikhin, V. P. (2012). Kleny v Bashkirskom Predural'e: biologicheskie osobennosti pri introduktsii. Ufa. (In Russian).
12. Sokolov, S. Ya., & Svyazeva, O. A. (1965). *Geografiya drevesnykh rastenii*. Moscow. (In Russian).
13. Tkachenko, K. G. (2013). Vidy roda *Iris* L. v kollektiyakh-ekspozitsiyakh zhivykh rastenii al'pinariya botanicheskogo sada Petra Velikogo Botanicheskogo instituta RAN. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle*, 3. 35–43. (In Russian).
14. Fomina, T. I. (2012). Biologicheskie osobennosti dekorativnykh rastenii prirodnoi flory v Zapadnoi Sibiri. Novosibirsk. (In Russian).
15. Bueno, J. M., Sáez-Plaza, P., Ramos-Escudero, F., Jiménez, A. M., Fett, R., & Asuero, A. G. (2012). Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: chemical structure, color, and intake of anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42(2), 126-151. <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>
16. Chen, M., & Blankenship, R. E. (2011). Expanding the solar spectrum used by photosynthesis. *Trends in plant science*, 16(8), 427-431. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.011>
17. Quemada, M., Gabriel, J. L., & Zarco-Tejada, P. (2014). Airborne hyperspectral images and ground-level optical sensors as assessment tools for maize nitrogen fertilization. *Remote sensing*, 6(4), 2940-2962. <https://doi.org/10.3390/rs6042940>
18. Ritz, T., Damjanović, A., Schulten, K., Zhang, J. P., & Koyama, Y. (2000). Efficient light harvesting through carotenoids. *Photosynthesis Research*, 66(1-2), 125-144. <https://doi.org/10.1023/A:1010750332320>

Турбина И. Н., Кукуричкин Г. М. Адаптационные возможности интродуцентов различного происхождения в условиях ботанического сада г. Сургута // *Вестник Нижневартовского государственного университета*. 2020. № 2. С. 60–67. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/08>

Turbina, I. N., & Kukurichkin, G. M. (2020). Adaptation possibilities of introduced plants of various origin in conditions of botanical garden at Surgut state university. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 60–67. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/08>

дата поступления: 20 января 2020 г.

дата принятия: 10 апреля 2020 г.

© Турбина И.Н., Кукуричкин Г.М.

А. А. Евсеева

ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРАВЯНИСТОГО ЯРУСА ГОРОДСКИХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСОВ (НА ПРИМЕРЕ КАЛУГИ И ОБНИНСКА)

А. А. Evseeva

ECOLOGICAL-PHYTOCENOTIC ANALYSIS OF THE FIELD LAYER OF URBAN RECREATIONAL FORESTS (ON THE EXAMPLE OF KALUGA AND OBNINSK)

Аннотация. Целью настоящего исследования является изучения разнообразия эколого-ценотической структуры травянистого яруса остаточных городских лесов на примере городов Калуги и Обнинска, в которых реализуются отличающиеся подходы к сохранению остаточных лесных сообществ на территории города. Обнинск практикует сохранение вошедших в городскую черту лесных зон в качестве рекреационных объектов, в Калуге же подобные лесные сообщества находятся в состоянии прерванной сукцессии и испытывали на себе лесотехнические мероприятия. Задачами исследования являются изучение эколого-ценотических и эколого-биологических спектров травянистого яруса лесных экосистем, а также выявление адвентивных и охраняемых видов растений. Исследование проходило в 2014–2015 гг. В изучаемых лесных сообществах было выбрано по 30 площадок, на которых велись геоботанические описания методом Браун-Бланке в разные периоды сезона вегетации (в июне и августе) для полного охвата флористического разнообразия. Всего за период наблюдений было сделано 240 флористических описаний. Городские леса Калуги оказались более подвержены негативным изменениям, протекающим в условиях рекреационного лесопользования. Травянистый ярус лесных рекреационных зон Калуги оказался более подверженным негативным изменениям, происходящим под воздействием антропогенной нагрузки, по сравнению с лесными рекреационными зонами Обнинска. Это выражается в долевом соотношении эколого-ценотических и эколого-биологических групп, наличии большего количества заносных видов в изучаемых сообществах Калуги, что свидетельствует о большей устойчивости к рекреационной нагрузке городских лесов Обнинска. Например, доля группы лесных местообитаний значительно выше в Обнинске, где лесные виды составляют более половины всех видов травяного яруса (54,2%). В Калужских лесах доля видов лесных местообитаний ниже (47,5%). Обнаруженная разница в устойчивости травянистого яруса лесов Обнинска предположительно объясняется стратегией их сохранения в городской черте в состоянии естественной сукцессии. Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности их использования для определения степени негативных изменений в рекреационных лесах. Дальнейшие исследования могут быть направлены на организацию

Abstract. The aim of this study is to study the diversity of the ecological-coenotic structure of the field layer of the residual urban forests, using as an example the cities Kaluga and Obninsk, which have different approaches to the conservation of residual forest communities in the city. Obninsk practices the conservation of forest zones that have entered the urban environment as recreational objects, while in Kaluga, such forest communities are in a state of interrupted succession and have experienced forestry activities. The objectives of the study are to study the ecological-coenotic and ecological-biological spectra of the field layer of forest ecosystems, and to identify adventive and protected plant species. The study took place in 2014–2015. In the forest communities under study, 30 sites were selected for geobotanical descriptions by the Braun-Blanquet method at different periods of the growing season (in June and August) to fully cover floristic diversity. A total during the observation period were made 240 floristic descriptions. Kaluga city forests turned out to be more susceptible to negative changes occurring in conditions of recreational forest management. The field layer of the Kaluga forest recreational zones turned out to be more susceptible to negative changes occurring under the influence of anthropogenic pressure, in comparing with the Obninsk forest recreational zones. This is expressed in the proportion of ecological-coenotic and ecological-biological groups, the presence of a greater number of alien species in the studied communities of Kaluga, which indicates greater resistance to the recreational load of the city forests of Obninsk. For example, the share of the group of forest habitats is much higher in Obninsk, where forest species make up more than half of all types of grass layer (54,2%). In the Kaluga forests, the share of forest habitats is lower and amounted to 47,5%. The discovered difference in the stability of the field layer of the Obninsk forests is presumably due to the strategy of their conservation in the urban area in a state of natural succession. The practical significance of the results obtained can be the possibility of using them to determine the degree of negative changes in recreational forests. The direc-

мониторинга городских лесов Калуги и Обнинска по состоянию травянистого яруса.

Ключевые слова: эколого-фитоценотический анализ; травянистый ярус; живой напочвенный покров; устойчивость экосистем; урбофитоценозы; лесные экосистемы.

Сведения об авторе: Евсеева Анна Александровна, SPIN-код: 1987-3168, канд. биол. наук, Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия, annahabarova@yandex.ru.

About the authors: Evseeva Anna Alexandrovna, SPIN-code: 1987-3168, Ph.D., Kaluga State University n. a. K. E. Tsiolkovsky, Kaluga, Russia, annahabarova@yandex.ru.

Введение

Травянистый ярус является важной функциональной единицей лесной экосистемы. Он играет большую роль в формировании и возобновлении лесной экосистемы, обеспечивает стабильность и устойчивость лесной экосистемы. Нижние растительные ярусы естественных климаксовых лесов находятся в условиях равновесного состояния, при этом за счет устойчивых внутривидовых связей поддерживается стабильность видового состава и обеспечивается постоянное структурное разнообразие компонентов экосистемы [19]. Живой напочвенный покров – один из наиболее пластичных компонентов лесных экосистем, и вместе с тем он остается наименее устойчивым компонентом растительного сообщества под воздействием рекреации. Живой напочвенный покров, обусловленный средообразующим эдификатором, обеспечивает стабильность малого круговорота веществ и таким образом участвует в поддержании устойчивости экосистемы [2]. Именно виды живого напочвенного покрова в первую очередь реагируют на внешние воздействия и теряют свою целостность как лесного яруса. В свою очередь измененный травянистый ярус не может выполнять свои функции в полной мере и являться средой формирования будущего подроста, что угрожает дальнейшему разрушению экосистемы.

Сохранение живого напочвенного покрова в остаточных рекреационных городских лесах, несущих высокую рекреационную нагрузку, остается малоизученным. Однако это направление исследований является важным, поскольку антропогенная нагрузка оказывает на эколого-ценотический спектр травянистых растений лесного сообщества существенное влияние [7; 12], что связано с изменениями, происходящими в городских рекреационных лесах под воздействием рекреации. Это уплотнение почвы вследствие вытаптывания, изменение ее гидрологического режима [16]. Рекреационные нагрузки влияют в первую очередь на нижний ярус фитоценоза, поэтому индикатором степени рекреационной дигрессии может служить изменение состава и состояния живого напочвенного покрова [10; 13].

Материалы и методы исследования

Поскольку биологическое разнообразие видов как предмет охраны – одна из важнейших задач экологии в последние десятилетия [3], становится актуальным изучение не только биоразнообразия как многообразия видов растений той или иной экосистемы, но и многообразия образуемых этими видами эколого-ценотических групп. В данном исследовании сделан акцент на изучении разнообразия эколого-ценотических и эколого-биологических спектров травянистого яруса остаточных городских лесов на примере городов Калуги и Обнинска, в которых реализуются отличающиеся подходы к сохранению остаточных лесных сообществ на территории города. Обнинск практикует сохранение вошедших в городскую черту лесных зон в качестве рекреационных объектов, в Калуге подобные лесные сообщества находятся в состоянии прерванной сукцессии. Среди выбранных для исследования лесных массивов Калуги – памятник природы федерального значения – Калужский городской бор. Это крупный фитоценоз, являющийся уникальным участком южного варианта соснового леса, его остаточный лесной массив – «Комсомольская роща», имеющий статус памятника природы регионального значения; лесная часть памятника природы регионального значения «Парк усадьбы Яновских» с хвойно-широколиственными насаждениями; окраинный лесной массив около микрорайона «Ольговка», не имеющий охранного статуса [11].

Эколого-фитоценотический анализ видового состава травянисто-кустарничкового яруса был проведен в характерных для региона ассоциациях сосново-еловых лесов [15]. Исследование проводилось в 2014–2015 гг. Все выбранные для исследований сообщества в Обнинске – остатки есте-

ственных лесных массивов. Выбранный для исследований в Обнинске естественный остаточный фитоценоз дача «Бугры», или «Кончаловский лес», имеет статус памятника природы регионального значения. Окраинный крупный массив «Белкинский лес» и находящийся в центральной части города «Гурьяновский лес» не имеют природоохранного статуса, в них представлены разнообразные хвойно-широколиственные ассоциации [11].

В изучаемых лесных сообществах было выбрано по 30 площадок, на которых велись геоботанические описания методом Браун-Бланке [22] в разные периоды сезона вегетации (в июне и августе) для полного охвата флористического разнообразия. Количество площадок в исследуемых объектах закладывалось пропорционально их площади. Так, в самом крупном объекте г. Калуги – Калужском городском бору – было заложено 19 пробных площадок, в Комсомольской роще – 4 площадки, в лесном массиве, окружающем мкрн. Ольговка – 5 площадок, в парке усадьбы Яновских – 2 площадки. В Обнинске в наибольшем по площади Белкинском лесу было выбрано 18 площадок, в Гурьяновском лесу – 7 площадок, в Кончаловском лесу – 5 площадок. Всего за период наблюдений было сделано 240 флористических описаний. Сбор и обработка гербарных образцов производились по общепризнанным методикам на кафедре ботаники, микробиологии и экологии Калужского государственного университета. Видовая принадлежность растений определялась по «Флоре средней полосы Европейской части России» [8], для определения видов пикульников использовалась работа Е.В. Масловой [9]. Эколого-ценотическая приуроченность видов определялась по «Калужской флоре» [15] и определителю Н.Н. Цвелева [20]. Эколого-биологический анализ проводился по классификации жизненных форм Серебрякова [17]. Наличие адвентивных видов для региона и степень их натурализации устанавливались по работам А.В. Крылова [5; 6]. Гербаризированные материалы хранятся в научном гербарии Калужского государственного университета им. К.Э. Циолковского (KLH).

Результаты и их обсуждение

В Калуге представители травянистого яруса лесных сообществ относятся к следующим группам: болотно-лесо-луговые, болотно-луговые, болотно-лесные, болотно-опушечно-лесные, болотно-опушечно-луговые, интродуценты, лесные, опушечно-болотно-луговые, опушечно-лесные, опушечно-луговые, опушечно-лугово-степные, опушечно-прибрежно-луговые, опушечно-степные, опушечные, прибрежно-луговые, сорно-лесные, сорно-луговые, сорно-опушечно-лесные, сорно-опушечно-луговые, сорно-прибрежно-луговые, сорно-прибрежно-опушечные, сорно-прибрежные, сорные. В Обнинске травянистый ярус городских лесов объединяет следующие группы: болотно-лесные, болотно-лесо-луговые, болотно-луговые, болотно-опушечно-лесные, лесные, луговые, опушечно-лесные, опушечно-луговые, опушечно-прибрежно-луговые, опушечные, прибрежно-луговые, прибрежно-сорные, сорно-лесные, сорно-луговые, сорно-опушечно-лесные, сорно-опушечно-луговые, сорно-прибрежно-луговые, сорно-прибрежно-опушечные, сорно-прибрежные, сорные. Для удобства сравнительного анализа спектров и их соотношений эколого-ценотические группы растений были укрупнены до групп лесных, луговых, опушечных, сорных и интродуцентов. Поскольку анализируемые растения обнаружены в лесных биотопах, при укрупнении эколого-ценотических групп растений в группу лесных видов были объединены все типы, которые имеют в составе названия указание на лесной биотоп произрастания.

На рисунке 1 представлены соотношения эколого-ценотических спектров травянистых ярусов лесов Калуги и Обнинска. Доля группы лесных местообитаний значительно выше в Обнинске, где лесные виды составляют более половины всех видов травяного яруса (54,2%). В Калужских лесах доля видов лесных местообитаний ниже и составляет 47,5%. Опушечные виды, как правило, приурочены к лесным и смежным с ними экотопам. Их присутствие в лесных экосистемах не следует считать прямым признаком нарушенности. Это виды естественных местообитаний, сопряженных с лесными сообществами. В Обнинске доля опушечных видов также выше, чем в Калуге.

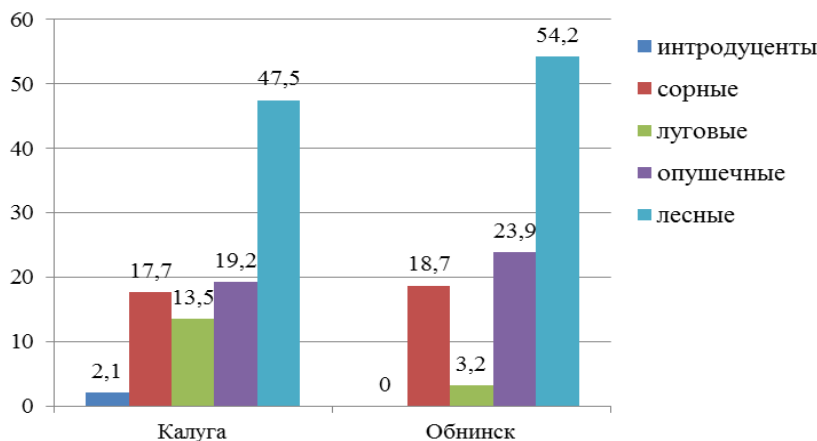


Рис. 1. Эколого-ценотические спектры травянистого яруса фитоценозов Калуги и Обнинска

Наличие значительного количества луговых видов свидетельствует об изменениях в экосистеме, произошедших под воздействием человека [14; 18]. В урбофитоценологии существует понятие феномена «олугования лесов», который выражается в присутствии в городских лесах большого количества термофильных видов и видов более засушливых местообитаний, географически имеющих более южный, по сравнению с местоположением города, ареал. Это явление сопровождается снижением устойчивости лесного сообщества [21].

Доля сорных растений в исследуемых городах составляет примерно одинаковую величину, возможно, это связано с одинаковым уровнем рекреационной нагрузки на исследуемые лесные экосистемы. Как видно из рисунка, внедрение интродуцентов отмечается только в Калужских лесах.

При сравнении спектров жизненных форм травянистого яруса городских лесов было выявлено, что в обоих городах доминируют многолетние травы (рис. 2).

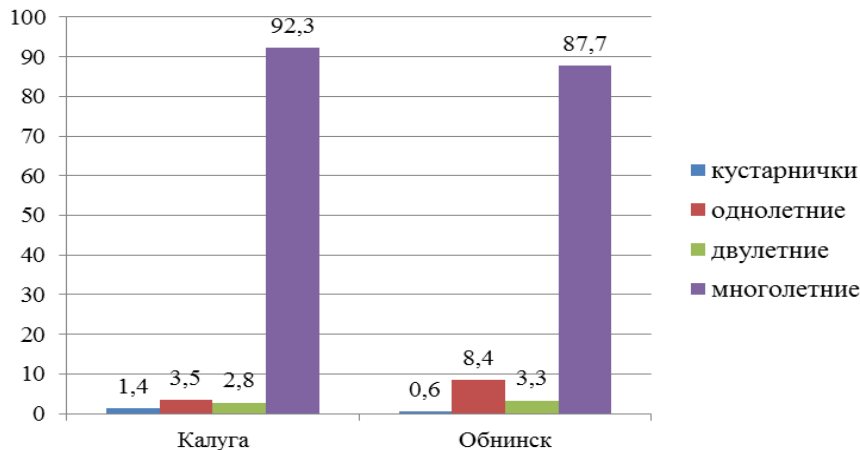


Рис. 2. Эколого-биологические спектры травянистого яруса фитоценозов Калуги и Обнинска

Однолетние и двулетние растения являются менее устойчивыми к разного рода механическим воздействиям, в частности, к вытаптыванию. Однолетников и двулетников больше в Обнинских лесах, предположительно потому, что экосистемы данных лесных сообществ более устойчивые и их способность противостоять внешним воздействиям выше, при одинаковой рекреационной нагрузке, по сравнению с экосистемами лесов Калуги. Эколого-ценотический анализ показал различия в экосистемах исследуемых городов, обусловленные разницей в их способности противостоять изменениям. Городские леса Калуги более подвержены негативным процессам, протекающим в условиях рекреационного лесопользования.

Далее был проведен анализ видов, различных в изучаемых городах. Для этого из перечней встреченных видов были исключены общие виды для исследуемых городов, а оставшиеся подверглись эколого-ценотическому и эколого-биологическому анализу.

При сравнении эколого-ценотических спектров различающихся видов было обнаружено, что разница в доле лесных видов более выраженная (рис. 3). Среди растений, отмеченных в Обнинске, доля лесных составляет 49,1%, а в Калуге всего 15,2%. Это говорит о том, что при исключении общих лесных видов из списков, характеризующих флору сообществ обоих городов как лесную, среди оставшихся различных видов пропорция в Калуге сместилась и здесь отмечается большое число видов прочих местообитаний. В Обнинске в пропорции фитоценотических групп растений лесные виды сохранили доминирование в спектре. Доля опушечных видов в Калуге возросла. В Обнинске сохранилось меньшее долевое значение луговых видов. Доли остальных фитоценотических групп существенно не изменились.

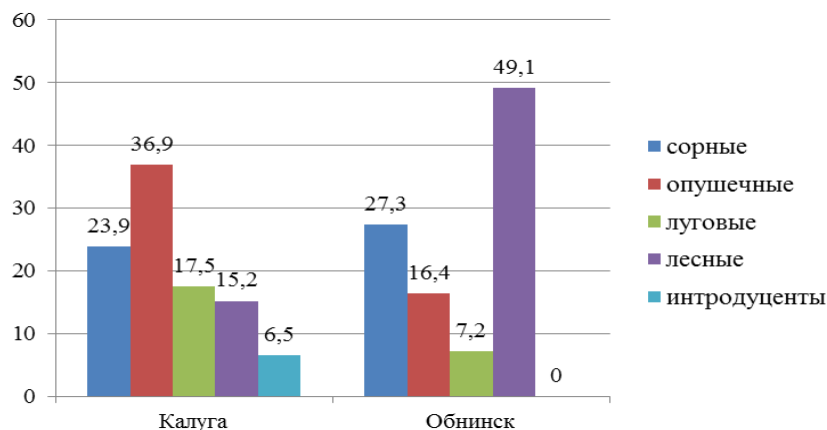


Рис. 3. Сравнение эколого-ценотических спектров травянистых растений, различных для лесов Калуги и Обнинска

При исключении из списков видов лесных экосистем Калуги и Обнинска общих видов пропорции эколого-биологической структуры флоры существенно не изменились. Однако в Обнинске немного возросла роль двулетних, а также среди встреченных видов, характерных только для Обнинска, отсутствуют представители кустарничков, ушедшие в общий с Калужскими лесами список видов (рис. 4).

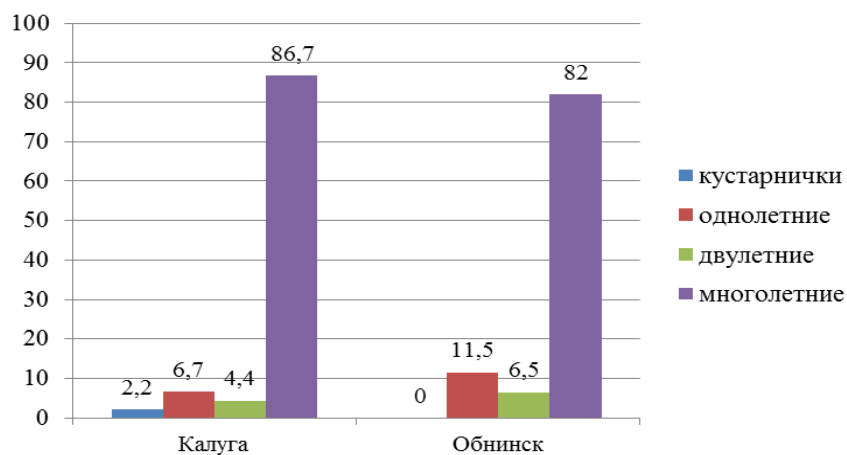


Рис. 4. Сравнение эколого-биологических спектров травянистых растений, различных для лесов Калуги и Обнинска

Присутствие и натурализация заносных видов может выступать критерием устойчивости экосистем. Внедрившиеся растения разрушают сложившиеся внутриценотические связи в растительном сообществе и заменяют его на чужеродные группировки [1]. В травянистом ярусе лесов г. Калуги выявлено 4 адвентивных вида, все растения натурализовались, степень натурализации N⁸-N⁹ (табл.).

Таблица

Адвентивные виды Калуги (+) и Обнинска (×) и степень их натурализации

Наименование видов	Степень натурализации видов								Путь заноса
	N ⁰ -N ²	N ³	N ⁴	N ⁵	N ⁶	N ⁷	N ⁸	N ⁹	
				Натурализовавшиеся растения					
<i>Myosotis sylvatica</i>	–	–	–	–	–	–	+	–	*С
<i>Impatiens glandulifera</i>	–	–	–	–	–	–	–	+	С
<i>I. parviflora</i>	–	–	–	–	–	–	+×	–	**А
<i>Viola odorata</i>	–	–	–	–	–	–	+	–	С
<i>Solidago gigantea</i>	–	–	–	–	–	–	–	×	С

Примечание: * – преднамеренно занесенные, С; ** – непреднамеренно занесенные, А.

В Обнинских лесах обнаружено 2 адвентивных вида, также натурализовавшихся в местной флоре, степень их натурализации также N⁸–N⁹ [5]. Высокая степень натурализации обнаруженных в Калуге и Обнинске видов говорит об ослабленных городских условиями внутриценотических связей данных экосистем. Вместе с тем в Калуге выявлено большее количество заносных видов.

В Обнинске было обнаружено 4 краснокнижных вида (2% от всех краснокнижных видов региона) [4]: *Daphne mezereum* L. (сем. *Thymelaeaceae*), *Lunaria rediviva* L. (сем. *Cruciferae*), *Sanicula europaea* L. (сем. *Apiaceae*) и *Lathyrus niger* (L.) Bernh. (сем. *Fabaceae*). В Калужских городских лесах найдено 3 находящихся под охраной вида (1,5% от всех краснокнижных видов региона): *Viola odorata* L. (сем. *Violaceae*), *Sanicula europaea* L. (сем. *Apiaceae*) и *Scabiosa ochroleuca* L. (сем. *Dipsacoideae*), причем последний вид относится к луговым местообитаниям.

Выводы

Таким образом, травянистый ярус лесных рекреационных зон Калуги оказался более подверженным негативным изменениям, происходящим под воздействием антропогенной нагрузки, по сравнению с лесными рекреационными зонами Обнинска. Эколого-ценотическая структура растительных сообществ Калуги характеризуется значительной антропогенной трансформацией, при которой в растительные ассоциации активно внедряются луговые и синантропные виды, которые натурализуются и вытесняют из ценозов классические лесные виды. Это выражается в доле соотношении эколого-ценотических и эколого-биологических групп, наличии большего количества заносных видов в изучаемых сообществах Калуги, что свидетельствует о большей устойчивости к рекреационной и прочей антропогенной нагрузке городских лесных экосистем Обнинска. Обнаруженная разница в устойчивости травянистого яруса предположительно объясняется стратегией сохранения лесов, вошедших в городскую черту Обнинска в состоянии естественной сукцессии.

ЛИТЕРАТУРА

- Акатов В. В., Акатова Т. В., Загурная Ю. С., Шадже А. Е. Инвазивность растительных сообществ: прогноз на основе анализа ценотических параметров // Новые технологии. 2009. № 3. С. 112–119.
- Беляева Н. В., Пакконен Н. А. Структура живого напочвенного покрова после добровольно-выборочных и равномерно-постепенных рубок // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 26. С. 3–10.
- Коваленко И. Н. Эколого-ценотические стратегии и их разнообразие на примере травянисто-кустарничкового яруса лесных экосистем // Наука и Мир. 2015. Т. 3. № 5. С. 74–76.
- Красная книга Калужской области. Калуга: Золотая Аллея, 2006. 608 с.
- Крылов А. В., Решетникова Н. М. Адвентивный компонент флоры Калужской области: натурализация видов // Ботанический журнал. 2009. Т. 94. № 8. С. 1126–1148.
- Крылов А. В., Решетникова Н. М. Адвентивный компонент флоры Калужской области: динамика распространения видов // Ботанический журнал. 2010. Т. 95. № 3. С. 350–367.
- Кузнецова А. А. Эколого-ценотические спектры травянистого яруса сосновых лесов: влияние рекреационной нагрузки // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции: в 2 ч. М. 2015. С. 35–38.
- Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 10-е изд. М., 2006. 600 с.
- Маслова Е. В. Дифференциация двух видов пикульника (*Galeopsis bifida* Voenn. и *G. tetrahit* L.) по морфологическим признакам и ДНК-маркерам // Генетика. 2008. Т. 44. № 3. С. 366–373.
- Никитченко Л. А., Миленин А. И. Мониторинг рекреационного воздействия на пригородные леса города Воронеж // Лесотехнический журнал. 2012. № 4 (8). С. 167–171.

11. Особо охраняемые природные территории и памятники природы Калужской области. URL: <https://clck.ru/NotEi>. (Дата обращения: 11.03.2020).
12. Петрачук А. А., Турсумбекова Г. Ш. Экологический анализ травяно-кустарничкового яруса подтайги заказника «Успенский» Тюменского района // Мир Инноваций. 2017. № 2. С. 63–68.
13. Прилепова О.Ю., Шелуха В.П. Реакция лесного фитоценоза как основа нормирования рекреационной нагрузки на пригородные леса // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. № 3(23). С. 13–24.
14. Реуцкая В.В., Гапоненко А.В. Воздействие рекреационных нагрузок на лесные экосистемы Усманского бора // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 9(131). С. 82–86.
15. Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Скворцов А.К., Крылов А.В., Воронкина Н.В., Попченко М.И., Шмыгов А.А. Калужская флора: аннотированный список сосудистых растений Калужской области. М., 2010. 548. с.
16. Рысин Л. П. Методика оценки последствий рекреационного лесопользования // Лесной вестник. 2000. № 6. С. 56–59.
17. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных растений. М., 1962. 378 с.
18. Трещевская Э.И., Андрищенко П.Ф., Боев В.Е., Дюков А.Н., Панков Я.В. Роль сосны обыкновенной при лесной рекультивации нарушенных земель // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: материалы науч. конф. Воронеж, 1993. С. 106–108.
19. Уфимцев В.И., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. Структура живого напочвенного покрова в сосняках на участках рекультивации Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 44. С. 36–58.
20. Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: Издательство СПХФА, 2000. 781 с.
21. Шадрин В.А., Федчук А.В. Состояние лесных экосистем под влиянием рекреации (на примере города Ижевска // Молодежный научный вестник. 2017. № 12(25). С. 33–39.
22. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. 3. Aufl. Wien, N.-Y. 1964.

REFERENCES

1. Akatov, V. V., Akatova, T. V., Zagurnaya, Yu. S., & Shadzhe, A. E. (2009). Invazibel'nost' rastitel'nykh soobshchestv: prognoz na osnove analiza tsenoticheskikh parametrov. *Novye tekhnologii*, (3). 112-119. (In Russian).
2. Belyaeva, N. V., & Pakkonen, N. A. (2010). Struktura zhivogo napochvennogo pokrova posle dobrovol'no-vyborochnykh i ravnomerno-postepennykh rubok. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, (26). 3-10. (In Russian).
3. Kovalenko, I. N. (2015). Ekologo-tsenoticheskie strategii i ikh raznoobrazie na primere travyanisto-kustarnichkovogo yarusa lesnykh ekosistem. *Nauka i Mir*, 3(5). 74-76. (In Russian).
4. Krasnaya kniga Kaluzhskoi oblasti (2006). Kaluga. (In Russian).
5. Krylov, A. V., & Reshetnikova, N. M. (2009). Adventive component of the flora of the Kaluga region: naturalization of species. *Botanicheskii Zhurnal*, 94(8). 1126-1148. (In Russian).
6. Krylov, A. V., & Reshetnikova, N. M. (2010). Adventive component of the Kaluga region flora: dynamics of species distribution. *Botanicheskii Zhurnal*, 95(3). 350-367. (In Russian).
7. Kuznetsova, A. A. (2015). Ekologo-tsenoticheskie spektry travyanistogo yarusa sosnovykh lesov: vliyanie rekreatsionnoi nagruzki. In *Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya, sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow. 35-38. (In Russian).
8. Maevskii, P.F. (2006). Flora srednei polosy evropeiskoi chasti Rossii. Moscow. (In Russian).
9. Maslova, E. V. (2008). Differentiation of two hemp nettle species (*Galeopsis bifida* Boenn. and *G. tetrahit* L.) inferred from morphological characters and DNA markers. *Russian Journal of Genetics*, 44(3). 312-319. (In Russian).
10. Nikitchenko, L. A., & Milenin, A. I. (2012). Monitoring rekreatsionnogo vozdeistviya na Prigorodnye lesa goroda Voronezh. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, (4). 167-171. (In Russian).
11. Osobo okhranyaemye prirodnye territorii i pamyatniki prirody Kaluzhskoi oblasti. <https://clck.ru/NotEi>
12. Petrachuk, A. A., & Tursumbekova, G. Sh. (2017). Ekologicheskii analiz travyano-kustarnichkovogo yarusa podtaigi zakaznika "Uspenskii" Tyumenskogo raiona. *Mir Innovatsii*, (2). 63-68. (In Russian).
13. Prilepova, O. Yu., & Shelukho, V. P. (2018). Reaktsiya lesnogo fitotsenozov kak osnova normirovaniya rekreatsionnoi nagruzki na prigorodnye lesa. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*, 3(23). 13-24. (In Russian).
14. Reutskaya, V. V., & Gaponenko, A. V. (2015). Vozdeistvie rekreatsionnykh nagruzok na lesnye ekosistemy Usmanskogo bora. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 9(131). 82-86. (In Russian).

15. Reshetnikova N. M., Maiorov S. R., Skvortsov A. K., Krylov A. V., Voronkina N. V., Popchenko M. I., & Shmytov A. A. (2010). Kaluzhskaya flora: annotirovannyi spisok sosudistykh rastenii Kaluzhskoi oblasti. Moscow. (In Russian).
16. Rysin, L. P. (2000). Metodika otsenki posledstviy rekreatsionnogo lesopol'zovaniya. *Lesnoi vestnik*, (6). 56-59. (In Russian).
17. Serebryakov, I. G. (1962). Ekologicheskaya morfologiya rastenii. Zhiznennye formy pokrytosemennykh i khvoinykh rastenii. Moscow. (In Russian).
18. Treshchevskaya, E. I., Andryushchenko, P. F., Boev, V. E., Dyukov, A. N., & Pankov, Ya. V. (1993). *In Rol' sosny obyknovnoy pri lesnoi rekul'tivatsii narushennykh zemel'. Sosnovye lesa Rossii v sisteme mnogotselevogo lesopol'zovaniya: materialy nauch. konf. Voronezh*, 106-108. (In Russian).
19. Ufimtsev, V. I., Strel'nikova, T. O., & Kupriyanov, O. A. (2018). Struktura zhivogo napochvennogo pokrova v sosnyakakh na uchastkakh rekul'tivatsii Kuzbassa. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, (44). 36-58. (In Russian).
20. Tsvelev, N. N. (2000). Opredelitel' sosudistykh rastenii Severo-Zapadnoi Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti). St. Petersburg. (In Russian).
21. Shadrin, V.A., & Fedchuk, A. V. (2017). Sostoyanie lesnykh ekosistem pod vliyaniem rekreatsii (na primere goroda Izhevsk). *Molodezhnyi nauchnyi vestnik*, 12(25). 33-39. (In Russian).
22. Braun-Blanquet, J. (1964). Pflanzensociologie. 3. Aufl. Wien, N.-Y.

Евсеева А. А. Эколого-фитоценотический анализ травянистого яруса городских рекреационных лесов (на примере Калуги и Обнинска) // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 68–75. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/09>

Evseeva, A. A. (2020). Ecological-phytocenotic analysis of the field layer of urban recreational forests (on the example of Kaluga and Obninsk). *Bulletin of Nizhneartovsk State University*, (2). 68–75. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/09>

дата поступления: 02 апреля 2020 г.

дата принятия: 15 мая 2020 г.

© Евсеева А.А.

Р. Т. Шереметов, В. П. Галахов

**ВЛИЯНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ НА ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ
БОГАТСТВО ФЛОРЫ (НА ПРИМЕРЕ
БАССЕЙНА р. ТОМЬ)**

R. T. Sheremetov, V. P. Galakhov

**INFLUENCE OF MORPHOMETRIC PARAMETERS OF
RIVER BASINS ON TAXONOMIC RICHNESS OF FLORA
(BY THE EXAMPLE OF THE TOM RIVER BASIN)**

Аннотация. Рассмотрены методические вопросы исследования влияния морфометрических параметров модельных бассейнов (размеров, характера речной сети, формы) реки Томь на таксономическую структуру флоры. С учетом значительных различий в морфометрии речных бассейнов, определяющих разнообразие экологических условий в бассейне Томи, выделено 22 модельных бассейна. Морфометрия бассейнов определена по 25 параметрам, которые характеризуют размеры бассейнов (площадь, длину, ширину, высоту и др.), особенности речной сети (протяженность и количество рек и др.), а также многообразие форм речных бассейнов. Обусловленность таксономического разнообразия флоры от морфометрии бассейнов рассматривалась для трех уровней – вида, рода и семейства. Показателями флористического богатства приняты: число видов, число родов и число семейств модельного бассейна. Выявлено, что морфометрические показатели модельных бассейнов колеблются в широких пределах, что обуславливает многообразие местообитаний растений. Однако размеры, особенности речной сети и формы имеют не равноценное значение для фиторазнообразия. Таксономическое богатство на каждом уровне (видовом, родовом и семейственном) зависит в первую очередь от особенностей размеров речных бассейнов. Выявлено, что существенное значение имеют высотные параметры, особенно максимальная высота, амплитуда колебания высоты или падение реки, при этом связь получена высокая ($\alpha = 0,05$ $df = 20$). Характер речной сети и формы бассейнов для таксономического богатства не имеют существенного значения. Наиболее значимые особенности морфометрии бассейнов для числа таксонов разных иерархических рангов включают одинаковый набор параметров бассейнов, в число которых, в первую очередь, входят высотные – их максимальные величины, амплитуда колебания высоты или падение реки. На видовом уровне значимость других параметров существенно ниже. Аналогичная зависимость получена на уровнях рода и семейства. При этом меняется не только теснота связи с изменением таксономического ранга, но и количество наиболее значимых морфометрических параметров.

Ключевые слова: морфометрические параметры речного бассейна; таксономическое богатство флоры; бассейн реки Томь.

Abstract. The article deals with methodological issues of studying the influence of morphometric parameters of model basins (size, nature of the river network, shape) of the Tom river on the taxonomic structure of flora. Taking into account significant differences in the morphometric of river basins, which determine the diversity of environmental conditions in the Tomi river basin, 22 model basins were identified. Morphometric of model basins is determined by 25 parameters characterizing the main sizes of basins (area, length, width, height, etc.), features of the river network (length and number of rivers, etc.), as well as various forms of river basins. The indicators of floristic wealth are accepted: the number of species, the number of genera and the number of model pool families. The author considers the conditionality of taxonomic diversity of flora by morphometric characteristics of basins for three levels-species, genus and family. Morphological parameters of model basins vary widely, which determines the diversity of plant habitats. However, the size, features of the river network and shape are not equivalent to the richness of the flora. Taxonomic richness at each level (species, genus and family) depends primarily on the morphometric of river basins. It is established that the altitude parameters are significant, especially the maximum height, the amplitude of the height or fall of the river, and the dependence is high ($\alpha = 0,05$ $df = 20$). The nature of the river network and the shape of the basins for taxonomic richness are not essential. The most important morphometric features of basins by the number of taxa of different hierarchical ranks include the same set of parameters of the basin, primarily the height and their maximum values, the amplitude of fluctuations in the height or fall of the river. At the species level, the significance of other parameters is much lower. A similar relationship is obtained at the genus and family levels. This changes not only the proximity of the relationship with the change in taxonomic rank, but also the number of the most significant morphometric parameters. The article contains 10 Tables, 27 References.

Key words: morphometric parameters of the basin; taxonomic richness of flora; Tom river basin.

Сведения об авторах: Шереметов Рашит Туракулович, ORCID: 0000-0003-4089-7302, канд. геогр. наук, Кузбасский ботанический сад, Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово, Россия, rasisit-sheremetov@rambler.ru; Галахов Владимир Прокопьевич, канд. геогр. наук, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, galahov@iwer.ru.

About the authors: Sheremetov Rashit Turakulovich, ORCID: 0000-0003-4089-7302, Ph.D., Kuzbass botanical garden the Institute of human ecology FRC CCC SB RAS, Kemerovo, Russia, rasisit-sheremetov@rambler.ru; Galakhov Vladimir Prokopyevich, Ph.D., Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWER SB RAS), Barnaul, Russia, galahov@iwer.ru.

Введение

Пространственная дифференциация биологического богатства в зависимости от различных факторов – одна из наиболее важных проблем биогеографии, неотъемлемой частью которой является таксономическое богатство. Принято считать, что таксономическое богатство флоры, в глобальном или региональном масштабах, прежде всего, зависит от площади исследуемого региона. Для количественной и сравнительной оценки создаются биогеографические карты, в которых в различной степени интегрируется пространственно-временная информация разного масштаба и содержания. В зависимости от задач исследования, применяются методы картографирования, наиболее распространенным из которых является метод квадратных сеток [2; 4; 11]. Богатство исследуемых территорий определяется числом таксонов в ячейках: 10×10 ; 50×50 и 75×75 км или $2,5 \times 2,5^\circ$ и более. При картографическом обобщении материала такой подход, видимо, обоснован. Однако он не учитывает зависимость богатства от ряда других факторов. Искусственно выделенные таким образом учетные единицы являются абстрактными категориями, которые приводят в конечном итоге к тому, что в одну ячейку попадают виды с различной экологией, которые реально не сосуществуют друг с другом. К тому же недоучитываются как климатические различия внутри территории, так и влияние региональных особенностей ландшафтного многообразия [11]. Использование крупной ячейки, как в глобальном, так и в региональном масштабе, приводят к потере местных особенностей, что, в свою очередь, не позволяет в полной мере отразить влияние всего многообразия факторов на таксономическое богатство.

Корректное сравнение фактического материала возможно с использованием различных хорологических категорий. Например, для флоры сосудистых растений одной из таких категорий является конкретная флора. Понятие введено российским ботаником-географом А.А. Толмачевым [15]. Конкретную флору, как правило, рассматривают как элементарную естественную флору регионального масштаба [18], в общем виде она соответствует флоре ландшафта, а в иерархии категорий разнообразия – γ -разнообразию [9].

Во флористике используется близкое понятие «локальная флора» (ЛФ), которое представляет собой выборочную флору конкретного региона, или «флору географического пункта» [17; 21]. Методики закладывания и изучения локальных и конкретных флор аналогичны, при этом локальные флоры часто соответствуют минимум-ареалу конкретной флоры, если они заложены в пределах однородного ландшафта [26].

Возможный способ сравнения разных по размерам территорий без учета площади и без пересчета числа таксонов на площадь стандартной величины используется для сравнения флор разных регионов, с пересчетом числа видов на площадь 100 и 1000 км², которая определяется как удельное видовое богатство для бывшего СССР [8]. Хотя использование стандартной площади и дает возможность сопоставить изначально различные по площади территории, тем не менее, точность расчетов во многом зависит от имеющихся в распоряжении исследователей данных, при этом пересчет числа видов на площадь стандартного размера дает завышенные результаты [13].

Более простой по расчетам показатель для оценки удельного видового богатства, которое можно представить, как среднее арифметическое значений числа видов в локальной флоре, относящейся к конкретному региону, с использованием метода конкретных-локальных флор предложен Б.А. Юрцевым с соавторами [27].

Однако по относительному богатству таксонов, или доли, которую составляет число видов, родов или семейств в локальной флоре от общего числа соответствующей таксономической категории всей флоры конкретного региона (провинции, зоны), из-за отсутствия о полном видовом составе флор крупных регионов (провинций, зон) дать оценку затруднительно.

Аналогичным по содержанию является показатель пространственного разнообразия флоры Л.И. Малышева (1994), который определяется как показатель z из уравнения $S = AX^z$, где S – число видов на площади X , A – число видов на единице площади, причем $z < 1$. Показатель z характеризует относительное видовое богатство – представленность элементарных флористических единиц в более крупных единицах регионального уровня – во флористических районах, областях или зонах [8].

Обилие подходов и методов определения исследуемой территории (площади), ограниченной условными или относительными границами, в конечном итоге не приводит к преодолению проблемы [11; 27–31]. Однако четкость заданных, хотя и искусственно принятых, границ является одним из важных аргументов в пользу выбора такого принципа. Но, тем не менее, необходимость выявить закономерности, характеризующие природные выделы, вынуждают флористов рассматривать флору естественных, имеющих физико-географические границы территориальных единиц районирования.

Обусловленность многих особенностей флоры и растительности географическими (экологическими) условиями позволяет нам использовать бассейновый подход. Реализация возможностей бассейнового подхода предусматривает использование природных территорий, которые являются естественными территориальными выделами с относительно однородными ландшафтно-экологическими условиями, с четкими границами в пределах речных водосборов. Таковыми являются малые и средние речные бассейны, или бассейны 4–6 порядков классификации Р.Е. Хортон [16].

Основными физико-географическими факторами, определяющими особенности бассейна, являются такие, как географическое положение, геологическое строение и рельеф, климат, почва, растительность. Рельеф как фактор поверхности водосбора определяет характер выпадения и распределения осадков по территории водосбора, условия протекания воды по земной поверхности, в конечном итоге увлажнение бассейна.

В свою очередь, климат формируется под влиянием таких факторов как солнечная радиация, циркуляция атмосферы, рельеф и характер подстилающей поверхности. Сочетание всех климатообразующих факторов в полной мере отражается в особенностях речных бассейнов, которые являются во многом результатом того же климата [10].

Речные бассейны обладают множеством разнообразных свойств, которые имеют далеко не одинаковое значение для формирования и развития флоры и растительности. Наиболее важные особенности конкретного бассейна характеризуются его морфометрическими параметрами, которые могут быть рассмотрены как экологические факторы организации флоры и растительности. Система морфометрических параметров речных бассейнов достаточно хорошо разработана и широко используется во многих науках естественно-научного цикла [5–7].

Как правило, морфометрические параметры разделяют на три класса, каждый из которых состоит из нескольких групп. Различают основные параметры, определение которых обязательно для всех бассейнов, и дополнительные, набор которых может варьировать в зависимости от цели исследования; отдельно рассматриваются графические характеристики.

Многие вопросы, в том числе и методического характера, оценки значимости многочисленных пространственных (географических) параметров как экологических факторов формирования флоры остаются открытыми. Целью нашего исследования является оценка значимости морфометрических параметров размеров, особенностей речной сети и формы бассейнов для таксономического богатства флоры.

Материалы и методы исследования

Река Томь берет свое начало на западном склоне Абаканского хребта и впадает в реку Обь справа на 2672 км от устья и в 60 км от г. Томска. Площадь водосбора – 62 тыс. км², 41% этой площади падает на левый берег, 59% – на правый. Длина реки – 827 км, протяженность участка реки в пределах Кемеровской области – 596 км.

Исток Томи находится на болотистом склоне между северными отрогами хребта Карлыган и горой Вершина Томи. Первые километры течет по заболоченной долине в юго-западном направлении. Ширина поймы до 3 км, перепад высот от истока до устья 1185 м. Среднемноголетний расход воды и годовой сток, соответственно, 1100 м³/с и 35,0 км³/год. Средняя скорость течения 0,33 м/с, на перекатах – 1,75 м/с. Замерзает в конце октября – начале ноября, вскрывается в конце апреля. Средняя продолжительность ледостава 158–160 дней, в среднем 175 дней в год свободна

ото льда. Дождевое питание реки составляет 25–40%, снеговое – 35–55% и грунтовое – 25–35% годового стока.

Верховье реки Томь порожистое, имеет узкую долину, крутые и высокие берега. Ниже впадения рек Уса и Мрас-Су долина ее расширяется, течение становится более спокойным. Кузнецкую котловину Томь пересекает с юго-востока на северо-запад. Основные ее притоки – рр. Уса, Мрас-Су, Кондома, Нижняя и Верхняя Терси, Тайдон и другие, стекающие с Кузнецкого Алатау и Горной Шории, – типичные горные реки. Питание смешанное, с преобладанием снегового. Характерно весеннее половодье за счет таяния снега в горах.

Совокупность морфометрических параметров речных водосборов представляется следующим образом [5; 7]. Простейшие, структурные и экспозиционно-симметричные классы морфометрических параметров состоят из нескольких групп. В классе простейших выделены группы элементарных, формы и высотных параметров. В классе структурных параметров выделены также 3 группы: удельные, составные и системно-структурные. К третьему классу показателей относятся ориентационные и симметричные группы показателей. Набор основных и дополнительных параметров может варьировать в зависимости от цели исследования.

Наиболее важными элементарными параметрами бассейнов являются площадь, длина, ширина. Эти параметры широко используются в многочисленных оценочных расчетах не только в отношении природных ресурсов, но и режимных характеристик рек. От величины этих параметров во многом зависят экологические условия и разнообразие местообитаний растений, которые в конечном итоге определяют особенности природной среды и биоразнообразие речных бассейнов.

Неотъемлемой частью речного бассейна является речная сеть, которая возникает в результате действия различных физико-географических процессов в бассейне. Характер ее зависит от рельефа первичной поверхности, геологической структуры и тектоники местности, климата и возраста бассейна. Если географическое положение и направление рек определены структурой неотектонических процессов, то основным фактором, определяющим развитие речной сети, являются климатические условия, и в первую очередь атмосферные осадки. Характеристики атмосферных осадков определяют режим стока и, как следствие, характер речной сети.

Особое значение при оценке морфометрии речных бассейнов имеют высотные параметры, характеризующие особенности рельефа. Группа высотных параметров выражает средние и предельные характеристики, или высотное положение отдельных элементов реки (исток, устье) или речного бассейна в целом. Эта особенность выражена наибольшими величинами коэффициента парной корреляции между параметрами средней и максимальной высотой бассейна, а также с высотой истока и устья, а, следовательно, и с падением реки. Кроме того, особое место занимает параметр уклона, который является интегральным параметром по сути, так как содержит в себе превышение и расстояние между выбранными точками пространства. Таким образом, наиболее содержательным из группы высотных параметров является максимальная высота бассейна, с которой другие параметры имеют подчиненное значение (по величине коэффициента парной корреляции).

В основе формы речных бассейнов заложены структурные особенности рельефа. Форма речных водосборов обычно характеризуется расширением в средней части и сужением к устью и истокам реки. Наряду с этой наиболее часто встречающейся формой имеются водосборы с мало изменяющейся по длине шириной (равномерно развитые водосборы) и более расширенной частью в верховьях или, наоборот, в нижнем течении и, наконец, водосборы, характеризующиеся уменьшением ширины в средней части. Форма речных водосборов определяет степень одновременности поступления воды к замыкающему створу из различных частей водосборной площади и тем самым оказывает существенное влияние на условия протекания воды в реке, и в конечном итоге, особенности режима увлажнения различных участков бассейна, что в итоге отражается на фенологических ритмах растений.

В качестве числовой характеристики конфигурации бассейна может быть использован коэффициент вытянутости речного бассейна (β), выраженный отношением длины реки к средней ширине водосбора, или отношением квадрата длины реки к площади бассейна. Коэффициент формы является обратной величиной коэффициента вытянутости речного бассейна (β) и представляет собой отношение средней ширины к длине реки (β'). Коэффициент вытянутости (β) показы-

вает, что вытянутость бассейна зависит от ширины бассейна: чем шире бассейн, тем меньше вытянутость.

Водоразделы, ограничивающие пространство бассейнов, как в горных, так и на всхолмленных равнинных участках, обычно хорошо выражены и проходят по линии пересечения двух смежных склонов горных хребтов или возвышенностей. В горных районах водоразделы, как правило, хорошо выражены и проходят по вершинам горных хребтов. На равнинах водоразделы нередко выражены неявно, и определить их точно бывает затруднительно, особенно на слабовсхолмленных равнинах или в заболоченных районах. От протяженности водораздела во многом зависят размеры и формы речных бассейнов. Широко применяются длина водораздельной линии (периметр бассейна, P) и коэффициент развития водораздельной линии (w).

В группе системно-структурных характеристик структура речной сети рассматривается с позиций топологии и теории графов. К ним относятся длина пути ($\sum L$) – сумма непрерывной последовательности звеньев водотока, а также максимальная длина пути в системе, называемая в теории графов высотой дерева, или диаметром (d). Информативные структурные показатели – суммарные структурные меры энтропии ($\sum H_i$), вычисленные по формулам для расчета информации К. Шеннона [18].

Роль ориентационных характеристик часто недооценивается, хотя они, особенно в горной местности, являются ведущими факторами в пространственном распределении элементов водного баланса [1]. Так, ориентация геоморфологических элементов, в частности, главных водоразделов (A_B), относительно главных направлений влагопереноса во многом определяет увлажненность территории, в этом смысле важно направление долины главной реки (A_d). Большое значение имеют направления главных притоков, которые удобно изображать графически. Ориентация реки (долины) определяется от истока к устью и обозначается (это относится ко всем ориентационным характеристикам) как в румбах (т. е. С, СВ, В и т. д.), так и в градусах, начиная с севера по часовой стрелке.

Вторая подгруппа показателей описывает распределение площади бассейна по ориентации. Эти характеристики во многом определяют суммарное испарение с суши, ибо преобладание южных склонов ведет к повышению прихода солнечной радиации и к увеличению испарения. Учет распределения площади в восьми азимутальных интервалах проводится методом статистической выборки И.С. Соседова [14] и отображается, прежде всего, в виде графика – розы распределения (в процентах) от общей площади бассейна. Л.М. Корытный [7] предлагает две числовые характеристики: коэффициент распределения площади по ориентации (A_F), равный сумме (в процентах) четырех наиболее распространенных ориентаций, и коэффициент «южности» ($A_{Ю}$), равный разности встречаемости южных (Ю, ЮВ, ЮЗ) и северных (С, СВ, СЗ) ориентаций.

Важны также параметры симметрии [7]. В настоящее время широко применяется такой показатель симметрии как коэффициент асимметрии по площади (a_F). Аналогичный показатель – коэффициент неравномерности развития речной сети (a_l). В 1984 г. введен еще один показатель – коэффициент асимметрии по мощности, или коэффициент энантиоморфизма (a_s). Он связан со структурой речной сети, и его легче, чем площадные характеристики, определять по картам и справочникам.

К симметричным, по существу, относятся и рассмотренные выше ориентационные показатели, коэффициент густоты речной сети по площади (A_F) и коэффициент «южности» ($A_{Ю}$). При уменьшении этих коэффициентов, т. е. при симметричном распределении площади бассейна по ориентации, в значительной степени гасятся внутрибассейновые различия в суммарном испарении, и воднобалансовые процессы определяются цепочкой связей осадки–сток.

Видовое разнообразие исследованных бассейнов притоков Томи представлено от 451 до 648 видов высших сосудистых растений [23]. Фрагменты показателей таксономического состава флоры бассейна Томи представлены в таблицах 1, 2.

Для решения поставленной задачи применены статистические методы [12], при помощи которых проведены: расчет выборочных статистик, тесты на нормальность распределения, корреляционный анализ (линейная корреляция К. Пирсона), регрессионный анализ (парная линейная регрессия). Корреляционно-регрессионный анализ проведен с использованием массивов данных о таксономическом составе флор бассейнов реки Тотьма из [23]. Использованный компьютерный инструментариум: AtteStat12.0.5, MS Excel 2010.

Таблица 1

Основные параметры флоры модельных бассейнов (по Шереметова, 2016)

Модельный бассейн	Общее число			Модельный бассейн	Общее число		
	видов, Nв	родов, Nр	семейств, Nс		видов, Nв	родов, Nр	семейств, Nс
Уса	631	323	93	Аба	515	271	81
Мундыбаш	616	311	96	Черновой Нарык	455	262	81
Тайдон	479	272	85	Бол. Промышленная	499	281	84
Уньга	574	297	87	Порос	535	294	89
Лебяжья	486	274	87	Кисловка	529	303	90
Ускат	574	295	85	Бол. Казыр	546	293	82
Кабырза	615	309	92	Самуська	487	286	88
Н. Терсь	576	301	90	Басандайка	579	307	86
Стрелина	472	270	81	Бунгарап	451	264	81
В. Терсь	648	325	94	Тугояковка	482	277	86
Сосновка	464	272	83	Бол. Теш	514	277	87

Результаты исследования и их обсуждение

Среднее число видов в модельном бассейне превышает 500, родов – около 290, семейств – 87. Наибольшим богатством, практически на всех таксономических рангах, отличается бассейн Верхней Терси, а наименьшим таксономическим богатством отличаются бассейны Бунгарапа и Чернового Нарыка. Изменчивость числа видов в бассейне Томи незначительная, коэффициент вариации 0,11, что, тем не менее, выше, чем родов и семейств. В общих чертах, наибольшее число видов характерно для горных бассейнов, а наименьшее – для равнинных. Такая закономерность просматривается и по числу родов и семейств (табл. 2).

Таблица 2

Статистические параметры модельных бассейнов реки Томь и их флор

Статистические параметры	Параметры модельных бассейнов			Параметры флоры		
	F	L	Вср	Nв	Nр	Nс
Среднее значение	943	53	19	533	289	87
Стандартная ошибка	142,8	4,28	1,71	12,9	3,99	0,95
Максимум	3320	104	36	648	325	96
Минимум	257	32	8	451	262	81
Коэффициент асимметрии	2,25	1,03	0,74	0,42	0,36	0,43
Экцесс	7,03	0,31	-0,31	-1,03	-0,91	-0,6
Коэффициент вариации	0,71	0,38	0,43	0,11	0,06	0,05
Медиана	884,5	46,5	17	522	289,5	86,5

Примечание: F – площадь бассейна, км²; L – длина бассейна, км; Вср – средняя ширина бассейна, км; Nв – число видов; Nр – число родов; Nс – число семейств.

Морфометрические параметры модельных бассейнов Средняя площадь модельного бассейна составляет около 1000 км². Однако диапазон колебания ее весьма широк: от 257 (бассейн Б. Теш) до 3320 км² (бассейн реки Уса). Последний также характеризуется и наибольшей длиной, которая достигает 104 км, что в три раза превышает среднюю величину модельного бассейна. Аналогично изменяются характеристики средней ширины бассейнов (табл. 2).

Основные параметры речной сети бассейна р. Томи представлены в таблице 3. Наиболее протяженная из рассматриваемых рек – река Уса, наименьшими по длине, не превышающими 50 км, являются Большой Теш и Кабырза. Средняя длина главной реки составляет 81 км. По количеству притоков и их суммарной протяженности также хорошо выражены различия: для равнинных рек, как правило, характерно минимальное количество притоков, в пределах 1–2 десятков, с общей протяженностью от первых десятков до нескольких сотен километров.

Для параметров, характеризующих количество притоков и их суммарную протяженность, характерна существенная амплитуда колебаний. Так, наибольшим количеством притоков ($\sum S$), как уже было отмечено выше и по другим параметрам, отличается р. Уса, а наименьшим – р. Кисловка, соответственно, для нее же характерна и минимальная суммарная длина речной сети ($\sum l$).

Несмотря на незначительные размеры, бассейн р. Теш отличается наибольшей плотностью (р) и густотой (D) речной сети – 0,573 притока на 1/км² и 0,782 км/км². Вполне закономерно, что минимальные величины этих параметров характерны для р. Кисловки (0,007 1/км² и 0,017 км/км² соответственно).

Значительную плотность имеют горные бассейны Кузнецкого Алатау и Горной Шории – от 0,058 до 0,573. На равнинах этот показатель колеблется в пределах от 0,007 (нижнее течение р. Томи) до 0,422 (Кузнецкая котловина).

В целом в бассейне Томи, как в горных районах, так и на равнине, наблюдаются существенные колебания плотности речной сети: в горах она колеблется от 0,0578 1/км² до 0,5370 1/км², а на равнине от 0,0101 1/км² до 0,4218 1/км²; аналогичные колебания наблюдаются и по густоте: в горах она колеблется от 0,01349 км/км² до 0,4462 км/км², а на равнине от 0,0172 км/км² до 0,6869 км/км².

Таблица 3

Морфометрические параметры речной сети бассейна реки Тошь

Статистические параметры	Параметры речной сети						
	l _{гл}	∑S	∑l	ρ	D	Кизв	γF
Среднее значение	81	131	208	0,16	0,27	1,75	0,0005586
Стандартная ошибка	7,22	28,25	35,67	0,032	0,048	0,15	0,0001808
Максимум	179	552	706	0,537	0,7821	3,52	0,00304
Минимум	38	4	10	0,007	0,017	0,74	0,00002
Коэффициент асимметрии	1,07	1,79	1,31	0,98	0,99	1,49	2,1007669
Эксцесс	1,83	3,86	2,40	0,22	0,10	2,23	3,4785828
Коэффициент вариации	0,42	1,01	0,80	0,91	0,83	0,40	1,5184281
Медиана	73	102	178	0,096	0,187	1,58	0,00023

Примечание: l_{гл} – длина главной реки, км; ∑S – количество притоков; ∑l – суммарная длина речной сети, км; ρ – плотность речной сети, 1/км²; D – густота речной сети, км/км²; Кизв – коэффициент извилистости; γF – коэффициенты густоты речной сети по площади.

Удельные показатели речной сети, такие как коэффициент извилистости (Кизв) и коэффициент густоты речной сети по площади (γF), также отличаются большим диапазоном колебаний. Наибольшей извилистостью отличаются, как правило, равнинные реки, например, р. Бол. Промышленная (3,52), р. Черновой Нарык (3,51); наименьшая извилистость отмечена у р. Ускат.

Коэффициент густоты речной сети по площади (γF), который определяется, главным образом, климатическими особенностями, в первую очередь увлажненностью территории, изменяется от 0,00304 (р. Теш) до 0,00020 (р. Лебяжья). В целом все параметры речной сети обладают высокой изменчивостью (по коэффициенту вариации) выше 40%.

Параметры высоты. Высотные параметры модельных бассейнов колеблются в широких пределах (табл. 4). Так, максимальные высоты изменяются от первых сотен метров на равнинах (174 м, бассейн р. Порос) до 2000 м в горах (1919 м, бассейн р. Уса). Перепад высот колеблется от 100 до 1700 метров. При этом средние высоты бассейнов также колеблются в широких пределах: от 120 м (бассейн р. Тугояковка) до более 1300 м (1692 м, бассейн р. В. Терсь). Истоки горных рек находятся на высотах от 130 м над уровнем моря до 1500, у равнинных рек истоки расположены на уровнях, значительно уступающих горным (129 м, р. Уньга; 382 м, р. Аба). Устье в большинстве случаев находится на высотах в диапазоне от 70 м (бассейн р. Самуська) до 200 м (бассейн р. Черновой Нарык) у равнинных и от 133 м (бассейн р. Тайдон) до 410 м (бассейн р. Кабырза) у горных рек. В связи с этим падение рек может достигать существенных величин: от 11 м (бассейн р. Уньга) до 1320 м (бассейн р. В. Терсь).

Среднюю длину склонов (l_{скл}) можно приближенно оценить по густоте речной сети. Протяженность склонов и их уклоны также колеблются в широких пределах. Средняя длина склона модельного бассейна составляет более 5 км. Наибольшая протяженность при этом характерна для равнинных рек (29 км в бассейне р. Кисловка), причем с небольшими уклонами. В горных бассейнах длина склонов колеблется в пределах 1–3 км (0,64 км, р. Теш; 3,2 км, р. Казыр). Наибольшие уклоны склонов (i_{скл}) закономерно характерны для горных бассейнов и в целом для бассейна Томи и колеблются от 0,013 % в бассейне р. Уньга до 3,200% в бассейне р. Казыр.

Таблица 4

Высотные параметры модельных бассейнов р. Томи

Статистические параметры	Параметры высоты								
	Нмах	ΔН	Нср	Ни	Ну	Δh	Искл	Иск	Φ
Среднее значение	784	616	402	525	167	358	5,33	0,07	40,65
Стандартная ошибка	142,21	126,89	63,31	103,51	20,87	90,28	1,55	0,02	13,19
Максимум	1919	1692	1300	1500	410	1320	29,15	0,32	241,38
Минимум	174	103	120	129	68	11	0,64	0,00	2,53
Коэффициент асимметрии	0,82	0,87	1,62	1,35	1,26	1,50	2,28	2,20	2,09
Эксцесс	-1,17	-1,12	2,78	0,33	1,06	0,78	4,97	5,02	4,40
Коэффициент вариации	0,85	0,97	0,74	0,92	0,58	1,18	1,37	1,14	1,52
Медиана	449	295,5	302,5	280	142,5	156,5	2,68	0,04	9,42

Примечание: Нмах – максимальная высота в бассейне, м; ΔН – амплитуда высот бассейна, м; Нср – средняя высота водосбора, м; Ни – высота истока, м; Ну – высота устья, м; Δh – падение реки, м; Искл – длина склона, км; Иск – средний уклон склонов, %; Φ – геоморфологический фактор.

Комплексный показатель рельефа (Φ – геоморфологический фактор) различается на 2–3 порядка и колеблется от 241,38 (бассейн р. Кисловка) до 2,53 (бассейн р. Теш), причем, как правило, у горных бассейнов этот показатель меньше, чем у равнинных, что выражает особенности соотношения длины склонов и их уклонов в количественной форме. В целом изменчивость высотных параметров выше изменчивости параметров речной сети (по коэффициенту вариации) и выше 58%.

Формы речных бассейнов. Показатели формы модельных бассейнов р. Томи представлены в таблице 5. Протяженность водоразделов (Р) модельных бассейнов в среднем составляет около 140 км и колеблется в широких пределах от 70 до 300 км. Изменчивость водораздельной линии по коэффициенту вариации составляет 40%.

Наименьшее возможное значение коэффициента развития длины водораздельной линии бассейна (w) равно единице; с его увеличением форма речного бассейна больше отличается от формы круга, который у модельных бассейнов больше единицы и колеблется от 1,10 (бассейн р. Самуська) до 1,68 (бассейн р. Ускат), что существенно отличает их от формы круга. Очевидно, что чем больше показатель формы речного бассейна отличается от формы круга, тем больше значение коэффициента (w).

Чем больше величина коэффициента вытянутости (β), тем больше вытянутость бассейна. К такому можно отнести бассейны рек Нарык (18,04), Мундыбаш (13,58), Нижняя Терсь (13,01), Промышленная (12,42), Самуська (10,27).

Коэффициент формы (β') указывает, насколько ширина бассейна близка к длине главной реки, отсюда следует, что чем ближе величина коэффициента к единице, тем ближе конфигурация бассейна к округлым формам.

Сравнивая данные таблиц 5 и 6, приходим к выводу: модельные бассейны существенно различаются по форме. Среди них встречаются как обычные (грушевидные), так и почти овальные (округлые) формы.

Таблица 5

Морфометрические параметры формы модельных бассейнов р. Томи

Статистические параметры	Параметры формы бассейнов				
	Р, км	Р1, км	w	β	β'
Среднее значение	137	104	1,31	8,09	0,24
Стандартная ошибка	11,57	7,24	0,03	0,84	0,02
Максимум	302,5	204,2	1,68	18,04	0,47
Минимум	73	57	1,10	1,68	0,15
Коэффициент асимметрии	1,33	1,13	0,87	0,64	1,41
Эксцесс	2,70	2,33	0,31	0,49	1,23
Коэффициент вариации	0,40	0,33	0,12	0,49	0,36
Медиана	132,5	105,4	1,28	8,01	0,21

Примечание: Р – длина водораздельной линии; Р1 – длина окружности круга, площадь которого равна площади бассейна; w – коэффициент развития длины водораздельной линии; β – коэффициент вытянутости; β' – коэффициент формы.

К округлым по форме бассейнам относятся такие бассейны рек как Ускат (0,47) и Стрелина (0,43). Наиболее распространенные формы все же грушевидные, со средней величиной коэффициента формы (β'), равной 0,24, что близко к грушевидной форме (0,30). Такую форму имеют бассейны рек Мундыбаш (0,30), Тайдон (0,29), Аба (0,27) и др.

Таблица 6

Отношение средней ширины водосбора к длине реки (по Михайлов, Добровольский, 1991)

Характеристика формы водосбора	Площадь водосбора, км ²			
	100	2000	5000	10000
Широкий (округлый)	0,85	0,65	0,55	0,50
Обычный (грушевидный)	0,40	0,30	0,26	0,24
Узкий (вытянутый)	0,20	0,15	0,13	0,12

Встречаются также бассейны с узкими формами (вытянутые), к которым могут относиться как горные бассейны рек Н. Терсь (0,15), В. Терсь (0,17), Уса (0,18), так и равнинные – Черновой Нарык (0,17), Тугояковка (0,17), Самуська (0,18).

Анализ широкого круга морфометрических показателей модельных бассейнов реки Томь показал многообразие размеров и форм, что предопределяет разнообразие экологических условий существования флоры и растительности региона.

Между морфометрическими параметрами бассейнов, как правило, существуют статистические связи. Наиболее тесные связи проявляются с комплексными параметрами, которые включают те характеристики, на основе которых они рассчитывались. Внутри каждой группы параметров имеют место наибольшие величины коэффициентов парной корреляции. Знание соотношений между различными параметрами способствует корректному выбору необходимых показателей для решения многих научных и практических задач.

Так, для группы основных (элементарных) параметров (площадь, ширина, длина бассейна) характерны весьма тесные связи, превышающие $|0,7|$, поскольку при определении площади любой геометрической фигуры используются параметры ширины и длины, т. е. параметр площади в скрытой форме включает параметры длины и ширины.

Параметр, характеризующий протяженность границы речного бассейна (периметр), тесно связан с площадью, длиной и шириной, поскольку любая геометрическая фигура имеет свою форму благодаря своим границам, в данном случае водоразделу речного бассейна. Кроме того, необходимо отметить, что между морфометрическими параметрами речных бассейнов и параметрами рек или речной сети в целом существуют определенные количественные соотношения, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов парной корреляции между параметрами рек и их бассейнов, а именно между длиной реки и площадью ее бассейна, и т. д.

Необходимо также отметить, что существуют и другие группы параметров, характеризующих особенности речных бассейнов. Предложенные систематизированные расчеты морфометрических параметров не сложные и могут быть выполнены для любого бассейна. Целесообразно проводить его на начальном этапе всех исследований, основанных на бассейновой концепции. Ранее показана целесообразность использования отдельных параметров для объяснения флористической дифференциации бассейновых флор и различий в их систематических показателях и пропорциях – в такой роли могут выступать как климатические параметры, так и некоторые морфометрические показатели модельных бассейнов [20-24]. Разносторонний анализ влияния морфометрических параметров речных бассейнов на таксономическое богатство, жизненные формы и в целом на биологический спектр флоры бассейна Томи ранее не проводился.

Обусловленность таксономического богатства морфометрическими параметрами речных бассейнов. Из 25 параметров, характеризующих морфометрию бассейнов, достоверные величины коэффициентов парной корреляции с числом видов получены лишь по 11, которые приведены в таблице 7.

Таблица 7

Теснота связи числа видов с морфометрическими параметрами речных бассейнов

Параметр	Статистические параметры		Параметр	Статистические параметры	
	Коэффициент корреляции, R	Стандартная ошибка коэффициента корреляции, σ		Коэффициент корреляции, R	Стандартная ошибка коэффициента корреляции, σ
ΔH	0,67	0,17	Hcp	0,49	0,20
Hmax	0,67	0,17	$\sum I$	0,48	0,20
Hi	0,66	0,17	I	0,47	0,20
Δh	0,64	0,17	P	0,46	0,20
L	0,50	0,19	$\sum S$	0,44	0,20
Hу	0,49	0,20			

Параметры ранжированы по величине коэффициента парной корреляции в убывающем порядке. В таблице приведены коэффициенты корреляции при пятипроцентном уровне значимости и степенях свободы $df = 20$.

Как следует из приведенной таблицы 7, по величине коэффициента парной корреляции наибольшее значение для числа видов имеют высотные параметры речных бассейнов, особенно их максимальные высоты (Hmax), или амплитуда колебаний высот (ΔH). При этом существенное значение имеет также высоты истоков рек (Hi), ее падение (Δh). Менее значимы такие параметры как длина (L), средняя высота бассейна (Hcp), а также некоторые параметры речной сети (P, $\sum S$, $\sum I$) и уклоны склонов (Iск). Наибольшая значимость высотных параметров для флористического разнообразия отмечена и для других речных бассейнов [2].

При сравнении коэффициентов корреляции со шкалой Э.В. Ивантера и А.В. Коросова (2010), представленной в таблице 8, следует, что на качественном уровне теснота связи между морфометрическими параметрами и числом видов достигает лишь средней величины с показателями перепада высот, которые объясняют 41–45% дисперсии числа видов в бассейнах (коэффициент детерминации $R^2 = 41,4\text{--}45,1\%$) [3]. С остальными параметрами связи средние или умеренные.

Таблица 8

Шкала уровня тесноты связи по величине корреляции (Ивантер, Коросов, 2010)

Интерпретация	Значение
Сильная, или тесная	при $r > /0,70/$
Средняя	при $/0,50/ < r < /0,69/$
Умеренная	при $/0,30/ < r < /0,49/$
Слабая	при $/0,20/ < r < /0,29/$
Очень слабая	при $r < /0,19/$

На родовом уровне коэффициенты парной корреляции с морфометрическими параметрами бассейнов представлены в таблице 9. Из 25 морфометрических параметров речных бассейнов достоверные коэффициенты (при $\alpha = 0,05$ и $df = 20$) получены лишь по восьми параметрам.

Таблица 9

Теснота связи числа родов с морфометрическими параметрами речных бассейнов

Параметр	Статистические параметры		Параметр	Статистические параметры	
	Коэффициент корреляции, R	Стандартная ошибка коэффициента корреляции, σ		Коэффициент корреляции, R	Стандартная ошибка коэффициента корреляции, σ
Δh	0,63	0,17	$\sum I$	0,47	0,20
Hi	0,62	0,18	I	0,45	0,20
ΔH	0,61	0,18	$\sum S$	0,44	0,20
Hmax	0,60	0,18	L	0,43	0,20

Наибольшие коэффициенты корреляции с падением рек (Δh), а также с высотой истоков рек (Hi), с амплитудой колебаний высот (ΔH) или максимальной высотой (Hmax). Менее существенны такие параметры речной сети, как суммарное количество рек ($\sum S$), уклоны склонов (Iск) и длина бассейна (L). Таким образом, для числа родов в бассейнах наибольшее значение имеют высотные

параметры, которые дают средние величины корреляционной связи (по шкале Э.В. Ивантера и А.В. Коросова) и объясняют 36–40% дисперсии числа родов в бассейнах (коэффициент детерминации $R^2 = 35,6\text{--}40,0\%$) [3]. Другие морфометрические параметры достоверных коэффициентов парной корреляции с числом родов не дали.

На уровне семейств из 25 морфометрических параметров речных бассейнов достоверные коэффициенты (при $\alpha = 0,05$ и $df = 20$) получены так же, как и для числа родов, по восьми параметрам (табл. 10).

Таблица 10

Теснота связи числа семейств с морфометрическими параметрами речных бассейнов

Параметр	Статистические параметры		Параметр	Статистические параметры	
	Коэффициент корреляции, R	Стандартная ошибка коэффициента корреляции, σ		Коэффициент корреляции, R	Стандартная ошибка коэффициента корреляции, σ
ΔH	0,55	0,19	ΣI	0,47	0,20
Δh	0,53	0,19	$I_{гл}$	0,47	0,20
H_{max}	0,53	0,19	ΣS	0,45	0,20
$H_{и}$	0,52	0,19	L	0,44	0,20

Причем наиболее существенными являются те же высотные параметры: максимальные высоты (H_{max} , $H_{и}$) или диапазон изменчивости, выраженный падением реки или амплитудой колебаний высот (Δh , ΔH). Более слабые (достоверные) связи числа семейств с параметрами речной сети ($R^2 = 20\text{--}22\%$).

Заключение

Анализ влияния морфометрических параметров речных бассейнов, характеризующих абиотическую среду, обуславливающую таксономическое богатство, свидетельствует о неоднозначности их влияния, т. е. различные группы параметров бассейнов влияют на таксономическое богатство флоры не равнозначно. Причем на каждом таксономическом уровне число видов, родов и семейств имеет различную обусловленность от морфометрических параметров модельных бассейнов. Не со всеми показателями морфометрии бассейнов, из рассмотренных 25 параметров, получены достоверные коэффициенты парной корреляции (при пятипроцентном уровне значимости и степенях свободы $df = 20$). Для каждого таксономического уровня получен различный набор параметров. Наибольшее количество параметров получено для ранга вид, наименьшее – для ранга род и семейство. При этом наибольшее влияние на таксономическое богатство флоры оказывают высотные показатели бассейна. Не все рассматриваемые уровни таксономического богатства равноценно реагируют на морфометрические особенности бассейнов. Наиболее чувствительным к высотным параметрам оказался видовой уровень. Из высотных параметров наибольшее значение имеют максимальная высота или перепад высот, выраженный показателем падения реки или амплитудой колебания высоты в бассейне. С увеличением таксономического уровня влияние этих морфометрических параметров снижается.

Менее значимыми являются параметры речной сети: суммарное количество рек и их суммарная протяженность. Аналогичное значение имеют протяженность водоразделов и склонов бассейнов. Преимущество высоты перед другими параметрами, видимо, заключается в том, что на ограниченных пространствах в пределах малых и средних речных бассейнов именно этот параметр в большей степени влияет на разнообразие местообитаний, и в первую очередь через изменение гидротермических условий, что отражается на показателях таксономического богатства флоры.

Необходимо отметить, что такой параметр бассейнов как длина на все основные ранги имеет равноценное влияние. Кроме того, достоверных и сколько-нибудь значимых коэффициентов корреляции числа видов, родов и семейств с параметрами формы бассейнов, а также с площадью и шириной, получить не удалось.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка состояния и охрана флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов in situ и ex situ» № 0352-2016-0002; № государственной регистрации АААА-А17-117041410053-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов А. Н., Корытный Л. М. Географические аспекты гидрологических исследований (на примере речных систем Южно-Минусинской котловины). Новосибирск: Наука. 1981.
2. Иванова А. В., Костина Н. В., Кузнецова Р. С. Взаимосвязь флористического и ландшафтного разнообразия территории на примере физико-географического района лесостепной зоны // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17. № 4. С. 481–485. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-4-481-485>
3. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия. Петрозаводск. 2010.
4. Королева Е. Г., Казанджян И. М., Аристархова Е. А., Каширина Е. С., Севастополь Ф. М., Ломоносова М. В. Изучение ботанического разнообразия методом квадратных сеток (на примере региональных исследований) // Ботаника в современном мире. Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18-23 июня 2018 г.). 2018. Т. 1. С. 140–143.
5. Корытный Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск, 2001.
6. Корытный Л. М. Морфологические характеристики речного бассейна // География и природные ресурсы. 1984. №3. С. 105-112.
7. Корытный Л. М. Симметрия в географии // География и природные ресурсы. 1984. № 1. С. 171–176.
8. Малышев Л. И. Флористическое богатство СССР // Актуальные проблемы сравнительного изучения флор: Материалы III раб. совещ. по сравнительной флористике. СПб.: Наука. 1994. С. 34–87.
9. Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука. 1989.
10. Михайлов В. Н., Добровольский А. Д. Общая гидрология. М., 1991.
11. Морозова О. В. Пространственные тренды таксономического богатства сосудистых растений Восточной Европы // Виды и сообщества в экстремальных условиях: Сб., посвященный 75-летию ак. Ю. И. Чернова. М., 2009.
12. Пузаченко Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М., 2004.
13. Ребристая О. В. Опыт применения метода конкретных флор в Западносибирской Арктике (полуостров Ямал) // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики: Материалы II раб. совещ. по сравнительной флористике. Л.: Наука. 1987. С. 67–90.
14. Соседов И. С. Исследование баланса снеговой влаги на горных склонах. Алма-Ата: Наука КазССР. 1967.
15. Толмачев А. И. К методике сравнительно-флористических исследований. I. Понятие о флоре в сравнительной флористике // Журнал Русского ботанического общества. 1931. Т. 16. № 1. С. 111–124.
16. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М., 1948.
17. Шеляг-Сосонко Ю. Р. О конкретной флоре и методе конкретных флор // Ботанический журнал. 1980. 65. № 6. С. 761–774.
18. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963. С. 243–332.
19. Шереметов Р. Т., Шереметова С. А. Влияние гидротермических условий бассейна реки Томь на экологическую структуру флоры // Сибирский экологический журнал. 2017. № 2. С. 136–149. <https://doi.org/10.15372/SEJ20170204>
20. Шереметов Р. Т., Шереметова С. А. Влияние морфологических особенностей речных бассейнов на таксономическое богатство флоры // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Сб. мат. докл. V Международной конференции (2-3 сентября 2018 г, Кемерово). Кемерово. 2018. С. 20–26.
21. Шереметов Р. Т., Шереметова С. А. Влияние снежного покрова на соотношение сосудистых споровых, голосеменных и цветковых растений во флоре бассейна р. Томи // Ботанические исследования Сибири и Казахстана: Сб. науч. тр. Кемерово. 2016. Вып. 22. С. 71–77.
22. Шереметов Р. Т., Шереметова С. А. Особенности увлажнения бассейна Томи и экологический спектр флоры (по отношению к режиму увлажнения) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 37. С. 178–193.
23. Шереметова С. А. Флора бассейна реки Томь: состав, структура, трансформация, пространственная организация: Дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2016.
24. Шереметова С. А., Шереметов Р. Т. Основные климатические параметры зимнего сезона и особенности биологического спектра флоры сосудистых растений бассейна реки Томи // Сибирский экологический журнал. 2015. № 1. С. 3–12. <https://doi.org/10.1134/S1995425515010126>
25. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во ЛГУ. 1984.
26. Юрцев Б. А. Мониторинг биоразнообразия на уровне локальных флор // Ботанический журнал. 1997. Т. 82. № 6. С. 60–70.

27. Юрцев Б. А., Зверев А. А., Катенин А. Е., Королева Т. М., Петровский В. В., Ребристая О. В., Ходачек Е. А. Пространственная структура видового разнообразия локальных и региональных флор Азиатской Арктики // Ботанический журнал. 2004. Т. 89. № 11. С. 1689–1727.
28. Юрцев Б. А., Камелин Р. В. Основные понятия и термины флористики. Пермь. 1991.
29. Field R., Hawkins B. A., Cornell H. V., Currie D. J., Diniz-Filho J. A. F., Guégan J. F., O'Brien E. M. Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis // Journal of biogeography. 2009. V. 36. № 1. P. 132–147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01963.x>
30. Hawkins B. A., Field R., Cornell H. V., Currie D. J., Guégan J. F., Kaufman D. M., Porter E. E. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness // Ecology. 2003. V. 84. № 12. P. 3105–3117. <https://doi.org/10.1890/03-8006>
31. Hillebrand H. On the generality of the latitudinal diversity gradient // The American Naturalist. 2004. V. 163. № 2. P. 192–211. <https://doi.org/10.1086/381004>

REFERENCES

1. Antipov, A. N., & Korytnyi, L. M. (1981). Geograficheskie aspekty gidrologicheskikh issledovaniy (na primere rechnykh sistem Yuzhno-Minusinskoj kotloviny). Novosibirsk. (In Russian).
2. Ivanova, A. V., Kostina, N. V., & Kuznetsova, R. S. (2017). Interrelation of Floristic and Landscape Diversity of the Territory on the Example of the Physiographic Area of Forest-Steppe Zone. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 17(4), 481–485 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-4-481-485>
3. Ivantseva, E. V., & Korosov, A. V. (2010). Elementarnaya biometriya. Petrozavodsk. (In Russian).
4. Koroleva, E. G., Kazandzhyan, I. M., Aristarkhova, E. A., Kashirina, E. S., Sevastopol, F. M., & Lomonosova, M. V. (2018). Izuchenie botanicheskogo raznoobraziya metodom kvadratnykh setok (na primere regional'nykh issledovaniy). In *Botanika v sovremennoy mire. Trudy XIV S'ezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferentsii "Botanika v sovremennoy mire" (g. Makhachkala, 18-23 iyunya 2018 g.)*. 1. 140–143. (In Russian).
5. Korytnyi, L. M. (2001). Basseinovaya kontseptsiya v prirodopol'zovanii. Irkutsk. (In Russian).
6. Korytnyi, L. M. (1984). Morfologicheskie kharakteristiki rechnogo basseina. *Geografiya i prirodnye resursy*, (3). 105–112. (In Russian).
7. Korytnyi, L. M. (1984). Simmetriya v geografii. *Geografiya i prirodnye resursy*, (1). 171–176. (In Russian).
8. Malyshev, L. I. (1994). Floristicheskoe bogatstvo SSSR. In *Aktual'nye problemy sravnitel'nogo izucheniya flory: Materialy III rab. soveshch. po sravnitel'noi floristike*, St. Petersburg. 34–87. (In Russian).
9. Mirkin, B. M., Rozenberg, G. S., & Naumova, L. G. (1989). Slovar' ponyatii i terminov sovremennoi fitotsenologii. Moscow. (In Russian).
10. Mikhailov, V. N., & Dobrovol'skii, A. D. (1991). Obshchaya gidrologiya. Moscow. (In Russian).
11. Morozova, O. V. (2009). Prostranstvennye trendy taksonomicheskogo bogatstva sosudistykh rasteniy Vostochnoi Evropy. In *Vidy i soobshchestva v ekstremal'nykh usloviyakh: Sb., posvyashchenniy 75-letiyu ak. Yu. I. Chernova*, Moscow. (In Russian).
12. Puzachenko, Yu. G. (2004). Matematicheskie metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyakh. Moscow. (In Russian).
13. Rebristaya, O. V. (1987). Opyt primeneniya metoda konkretnykh flory v Zapadnosibirskoi Arktike (poluostrov Yamal). In *Teoreticheskie i metodicheskie problemy sravnitel'noi floristiki: Materialy II rab. soveshch. po sravnitel'noi floristike*, Leningrad. 67–90. (In Russian).
14. Sosodov, I. S. (1967). Issledovanie balansa snegovoi vlagi na gornykh sklonakh. Alma-Ata.
15. Tolmachev, A. I. (1931). K metodike sravnitel'no-floristicheskikh issledovaniy. I. Ponyatie o flore v sravnitel'noi floristike. *Zhurnal Russkogo botanicheskogo obshchestva*, 16(1). 111–124. (In Russian).
16. Khorton, R. E. (1948). Erozionnoe razvitiye rek i vodosbornykh basseinov. Moscow. (In Russian).
17. Shelyag-Sosonko, Yu. R. (1980). O konkretnoi flore i metode konkretnykh flory. *Botanicheskii zhurnal*, 65(6). 761–774. (In Russian).
18. Shennon, K. (1963). Matematicheskaya teoriya svyazi. In *Raboty po teorii informatsii i kibernetike*, Moscow. 243–332. (In Russian).
19. Sheremetov, R. T., & Sheremetova, S. A. (2017). The effect of the hydrothermal conditions of the Tom River Basin on the ecological structure of flora. *Contemporary Problems of Ecology*, (2). 119–130. (In Russian). <https://doi.org/10.15372/SEJ20170204>
20. Sheremetov, R. T., & Sheremetova, S. A. (2018). Vliyaniye morfologicheskikh osobennostey rechnykh basseinov na taksonomicheskoye bogatstvo flory. In *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov: Sb. mat. dokl. V Mezhdunarodnoi konferentsii (2-3 sentyabrya 2018 g, Kemerovo)*, Kemerovo. 20–26. (In Russian).
21. Sheremetov, R. T., & Sheremetova, S. A. (2016). Vliyaniye snezhnogo pokrova na sootnosheniye sosudistykh sporovykh, golosemenykh i tsvetkovykh rasteniy vo flore basseina r. Tomi. In *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana: Sb. nauch. tr. Kemerovo*, 22. 71–77. (In Russian).

22. Sheremetov, R. T., & Sheremetova, S. A. (2017). Osobennosti uvlazhneniya basseina Tomi i ekologicheskii spektr flory (po otnosheniyu k rezhimu uvlazhneniya). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, (37), 178–193. (In Russian).
23. Sheremetova, S. A. (2016). Flora basseina reki Tom': sostav, struktura, transformatsiya, prostranstvennaya organizatsiya: Dis. ... dokt. biol. nauk. Tomsk. (In Russian).
24. Sheremetova, S. A., & Sheremetov, R. T. (2015). Osnovnye klimaticheskie parametry zimnego sezona i osobennosti biologicheskogo spektra flory sosudistykh rastenii basseina reki Tomi. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, (1), 3-12. (In Russian). <https://doi.org/10.1134/S1995425515010126>
25. Shmidt, V. M. (1984). *Matematicheskie metody v botanike*. Leningrad. (In Russian).
26. Yurtsev, B. A. (1997). Monitoring bioraznoobraziya na urovne lokal'nykh flor. *Botanicheskii zhurnal*, 82(6), 60-70. (In Russian).
27. Yurtsev, B. A., Zverev, A. A., Katenin, A. E., Koroleva, T. M., Petrovsky, V. V., Rebristaya, O. V., & Khodachek, E. A. (2004). Prostranstvennaya struktura vidovogo raznoobraziya lokal'nykh i regional'nykh flor Aziatskoi Arktiki. *Botanicheskii zhurnal*, 89(11), 1689–1727. (In Russian).
28. Yurtsev, B. A., & Kamelin, R. V. (1991). Osnovnye ponyatiya i terminy floristiki. Perm'. (In Russian).
29. Field, R., Hawkins, B. A., Cornell, H. V., Currie, D. J., Diniz-Filho, J. A. F., Guégan, J. F., ... & O'Brien, E. M. (2009). Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis. *Journal of biogeography*, 36(1), 132-147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01963.x>
30. Hawkins, B. A., Field, R., Cornell, H. V., Currie, D. J., Guégan, J. F., Kaufman, D. M., ... & Porter, E. E. (2003). Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*, 84(12), 3105-3117. <https://doi.org/10.1890/03-8006>
31. Hillebrand, H. (2004). On the generality of the latitudinal diversity gradient. *The American Naturalist*, 163(2), 192-211. <https://doi.org/10.1086/381004>

Шереметов Р. Т., Галахов В. П. Влияние морфометрических параметров речных бассейнов на таксономическое богатство флоры (на примере бассейна р. Томь) // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 76–89. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/10>

Sheremetov, R. T., & Galakhov, V. P. (2020). Influence of morphometric parameters of river basins on taxonomic richness of flora (by the example of the Tom river basin). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2), 76–89. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/10>

дата поступления: 22 января 2020 г.

дата принятия: 14 апреля 2020 г.

© Шереметов Р.Т., Галахов В.П.

А. С. Хныкин, Е. А. Иванцова

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА
ПАУКОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

A. S. Hnykin, E. A. Ivantsova

**SEASONAL VARIATION OF SPIDER SPECIES
COMPOSITION IN VOLGOGRAD AGGLOMERATION**

Аннотация. В статье рассмотрены изменения видового состава пауков в течение теплого сезона. Сбор материала производился при помощи почвенных ловушек Барбера диаметром 10 мм с фиксирующей жидкостью (6%-й раствор уксусной кислоты). В ходе исследований всего было выявлено 235 видов пауков из 26 семейств, из них на территории Волгограда – 195 видов из 23 семейств. Новыми для фауны Волгоградской области оказались 155 видов. Вид *Trichoncus villius* Tanasevitch et Piterkina на территории РФ был отмечен впервые. Анализировался видовой состав пауков во время важнейших периодов их жизнедеятельности: окончание зимней диапаузы, время перед летней диапаузой, окончание летней диапаузы, период перед зимней диапаузой. В каждом случае серии ловушек экспонировались на протяжении семи дней. На основе индекса Жаккара проведен кластерный анализ качественных и качественно-количественных характеристик сообщества пауков в важнейшие периоды их активности в основных биотопах Волгоградской агломерации. Установлено, что весенний период характеризуется максимальным количеством видов, и максимальное сходство видового состава наблюдается между моментом выхода пауков из зимней диапаузы и периодом перед летней диапаузой. В течение теплого сезона видовой состав может дважды практически полностью меняться: перед окончанием летней диапаузы и в конце теплого сезона, приближаясь к весенним показателям. Данные изменения в значительно меньшей мере касаются околородных биотопов, где экологические условия более стабильны по сравнению с остальными исследованными биотопами.

Ключевые слова: пауки; видовой состав; биотопы; Волгоградская агломерация.

Abstract. The article addresses changes in the species composition of spiders during the warm season. The qualitative and quantitative characteristics of the spider community were analyzed during the most important periods of their activity in the main biotopes of the Volgograd agglomeration. The Cluster Analysis application, based on the Jaccard index, was used. The material was collected using 10 mm Barber soil traps with a fixing liquid (6% acetic acid solution). In total, 235 species of spiders belonging to 26 families were identified, including 195 species belonging to 23 families on the territory of Volgograd. Notably, 155 species were new to the fauna of the Volgograd region. Species *Trichoncus villius* Tanasevitch et Piterkina was found in the Russian Federation for the first time. The species composition was analyzed during critical periods of spider life: the end of winter diapause, the time before the summer diapause, the termination of summer diapause, and the period of before winter the diapause. In each case a set of traps were exposed for seven days. The spring period was characterized by the maximum number of species, and the maximum similarity in species composition was observed between the moment when spiders leave the winter diapause and the period before the summer diapause. During the warm season, the species composition changed almost completely twice: before the end of the summer diapause and at the end of the warm season, approaching the spring values. These changes were significantly less relevant to near-water biotopes, where environmental conditions were more stable compared to the other studied biotopes.

Key words: spiders; species composition; biotopes; Volgograd agglomeration.

Сведения об авторах: Хныкин Александр Сергеевич, ORCID: 0000-0001-8577-1960, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Россия, theraan@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.

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.

Введение

Решение проблемы сохранения и восстановления биоразнообразия невозможно без углубленного изучения биотических сообществ, структуры и особенностей населения различных экосистем. По данным «Каталога пауков мира», известно около 40 тыс. ныне живущих и не менее тысячи ископаемых видов [25]. В.П. Тыщенко указывал на недостаточную инвентаризацию аранеофауны страны: «...в пределах Европейской части СССР совсем нет сведений о видовом составе пауков Карельской АССР, Коми АССР, Башкирской АССР, Дагестанской АССР, Ивановской, Тамбовской и Волгоградской областей...» [13]. К числу хорошо изученных он относил Ленинградскую, Московскую, Пермскую, Челябинскую, Белгородскую, Ростовскую области, Крым и Кавказ. На конец 2006 г. на территориях к востоку от Урала было известно более 1800 видов из 38 семейств, что гораздо больше, чем в Средней Европе; в Сибири – около 1400 видов из 28 семейств, на юге Дальневосточного региона России – около 760 видов из 38 семейств [6; 12]. К 2010 г. пробел в изучении пауков был восполнен исследованиями С.Л. Есюнина [4; 17], В.Е. Ефимики [5], О.Е. Чащиной [15] по Уралу, С.Д. Узенбаева [14] по Карелии; Г.М. Абдурахманова и сопр. [1] по Республике Дагестан. Аннотированный список пауков К.Г. Михайлова [8; 20] включает 2694 вида, обитающих на территории бывшего Советского Союза, в том числе в регионах Европейской части России – свыше 700 [7].

Изученность пауков Нижнего Поволжья считается крайне недостаточной; известны две основные работы по инвентаризации видового состава представителей аранеофауны на территории Волгоградской области. Публикация А.В. Пономарева и сопр. [11], в которой представлено описание 149 видов пауков, в том числе нового рода, сделана на основе как собственных материалов, так и с использованием данных предыдущих исследований, в том числе работ Торелля (1875) [27]. В работах Т.В. Питеркиной и К.Г. Михайлова [9; 10] приводятся сведения о встречаемости пауков в глинистой пустыне Заволжья, в их аннотированном списке анализируются не только собственные сборы, но и коллекции разных авторов, исследования которых затрагивали нынешнюю территорию Палласовского района, а также представлен анализ происхождения и ареалов выявленных таксонов.

Материалы и методы исследования

Многолетние исследования аранеофауны проводились нами на территории Волгоградской области в период 2003–2019 гг. Ключевые участки расположены на территории г. Волгограда и в пригородной зоне. Анализировался видовой состав, распространение и численность пауков. Фактический материал получен в ходе постоянных выездов в рамках полевых практик по экологии, проводимых Волгоградским государственным университетом и Волгоградским государственным педагогическим университетом, командировочных выездов ФНЦ агроэкологии РАН (ранее – ВНИАЛМИ), а также самостоятельных поездок на полигоны исследований. Материал собирался в большей мере при помощи почвенных энтомологических ловушек Барбера [18] с фиксирующей жидкостью (6%-й раствор уксусной кислоты) диаметром 100 мм. Ловушки не накрывались, экспонировались на протяжении всего теплого сезона (апрель–октябрь), проверялись раз в 7 дней.

Полевыми исследованиями было занято 3920 ловушко-суток, а всего было отловлено 2156 особей пауков. Нами было выявлено 235 видов пауков из 26 семейств, из них на территории Волгограда – 195 видов из 23 семейств. Новыми для фауны Волгоградской области оказались 155 видов. Вид *Trichoncus villius* Tanasevitch et Piterkina на территории РФ был отмечен впервые [12].

В рамках исследования сезонной динамики видового состава пауков в различных биотопах Волгоградской агломерации были заложены серии почвенных энтомологических ловушек на следующих ключевых полигонах: Варваровское водохранилище, овраг Проломный, Григорова балка, промзона завода буровой техники (ВЗБТ). На каждом участке устанавливались почвенные ловушки (8–10 шт.) на расстоянии 5 м друг от друга. Видовая идентификация осуществлялась при помощи определителей [2; 14; 16; 19; 21–26].

С целью изучения сезонной динамики численности исследования осуществлялись в наиболее значимые для территории Волгоградской области периоды активного времени пауков, а именно:

– в первой декаде апреля – во время выхода молодежи и половозрелых особей пауков после окончания зимней диапаузы;

– в последней декаде мая – первой декаде июня – в период максимальной численности пауков, перед летней диапаузой;

– в последней декаде августа – в период окончания летней диапаузы;

– в первой половине октября – в период завершения сезона активности.

В каждом случае серии ловушек экспонировались на протяжении 7 дней. Для сравнения видового состава и численности представителей отряда *Aranei* был использован индекс Жаккара: $I_j = C / (A + B - C)$, где: *C* – общая совокупность видов во время двух периодов сбора; *A* – количество видов, отловленных только во время первого периода сбора; *B* – количество видов, отловленных только во время второго периода сбора.

При этом в качественном аспекте оценивалось наличие либо отсутствие вида, в количественном – численность отловленных видов пауков в каждом исследуемом биотопе. В качественно-количественном аспекте коэффициенты *A*, *B* и *C* представляют собой количество отловленных особей указанных видов соответственно.

Результаты попарного сравнения всех периодов сбора пауков по данным 2012 г. представлены в виде дендрограмм сходства видового состава (рис. 1–4), выполненных с использованием кластерного анализа в программе Statistica. Степень сходства видового состава пауков в разные периоды их активности оценивалась в баллах – от 0 до 1.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что с момента пробуждения до начала летней диапаузы видовой состав пауков в степных биотопах Волгоградской области в значительной степени меняется в качественном и в качественно-количественном аспектах – на 82% и 90% соответственно (рис. 1).

К концу августа видовой состав аранеофауны изменяется практически полностью и к наступлению зимней спячки приобретает сходство с весенним, поскольку после окончания зимней диапаузы у перезимовавших взрослых особей наступает период размножения, после которого они отмирают. Зимующие в неполовозрелом состоянии виды пауков размножаются непосредственно перед летней диапаузой и тоже отмирают. К концу летнего периода подрастают пауки, переживающие зиму в яйцевых коконах и вылупляющиеся весной, осенью вылупляются виды, отложившие яйца весной и перед летней диапаузой.

Нами установлено, что видовой состав представителей отряда *Aranei* наиболее сходен в момент окончания зимней диапаузы, перед летней диапаузой и перед зимней диапаузой – 16–19% общих видов в качественном и 10–13% – в количественном аспекте (рис. 2). При этом видовой состав полностью изменяется в конце августа. С момента окончания зимней спячки до летней диапаузы происходит размножение пауков, а период высоких летних температур и крайне низкой влажности большая часть популяции диапаузирует в стадии яйца (коконов). Но к моменту следующей зимней спячки видовой состав максимально близок к весеннему состоянию популяции. Однако многие виды проводят зиму в состоянии коконов, а взрослые особи в конце осени отмирают. Установлено, что условия среды в лесных биотопах Волгоградской области позволяют проживать примерно одинаковому количеству общих видов с осеннего периода до начала летней диапаузы. Видовой состав пауков полностью обновляется лишь во время наименее благоприятных погодных условий жаркого и засушливого летнего периода.

Отличительной особенностью сообщества пауков околородных биотопов, как видно из рисунка 3, является наибольшее отличие в видовом составе между первой и второй половинами сезона их активности. Летняя диапауза, как правило, является временем смены видового состава пауков околородных биотопов. В качественном аспекте между двумя периодами, разделенными летней диапаузой, общими оказались 10% видов, тогда как в качественно-количественном – 3%.

Установлено, что видовой состав околородных биотопов подвержен сезонным изменениям в наименьшей мере, что, предположительно, связано с более стабильными условиями окружающей среды. Влажность почвы и припочвенного слоя воздуха здесь изменяется незначительно даже в самый засушливый период лета из-за наличия рядом постоянного источника воды. Различия в видовом составе пауков между периодами начала апреля и конца мая, конца августа и конца сентября составляют в среднем 15%. В качественном аспекте сходство видового состава пауков в околородных биотопах незначительно увеличивается в период между концом августа и концом сентября, а в качественно-количественном – между началом апреля и концом мая.

Установлено, что максимальное сходство видового состава пауков оврагов и балок наблюдается в начале апреля и конце мая (рис. 4). По мере окончания теплого сезона видовой состав подвергается значительным изменениям; в конце сентября показатели степени сходства максимально отличаются от апрельских. Такие отличительные особенности связаны, скорее всего, с крайней неоднородностью экологических условий обитания представителей отряда *Aranei* в оврагах, где наблюдаются резкие микроклиматические переходы между дном оврагов и приовражными территориями.

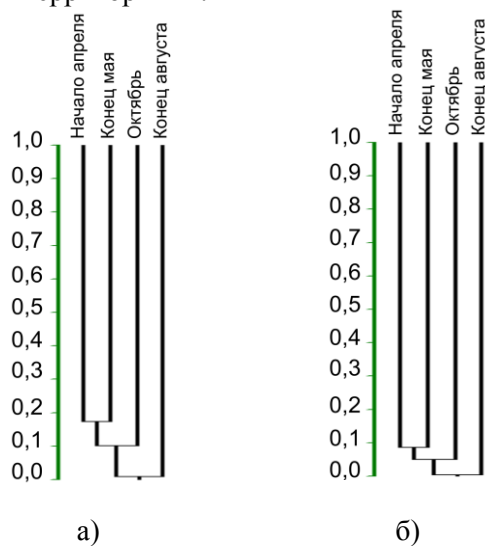


Рис. 1. Дендрограммы степени сходства видового состава представителей отряда *Aranei* в степных биотопах Волгоградской агломерации: а) качественный аспект, б) качественно-количественный аспект

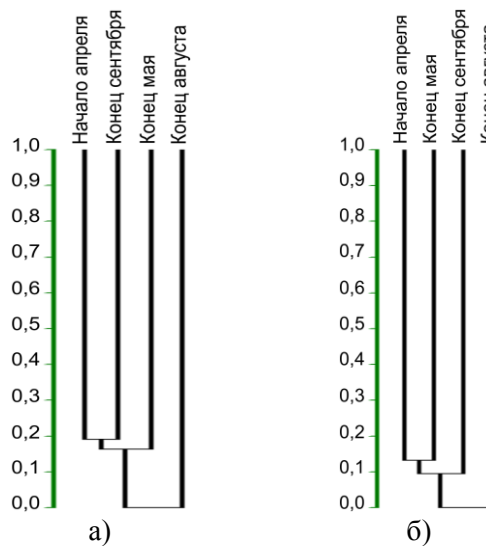


Рис. 2. Дендрограммы степени сходства видового состава представителей отряда *Aranei* в лесных биотопах Волгоградской агломерации: а) качественный аспект, б) качественно-количественный аспект

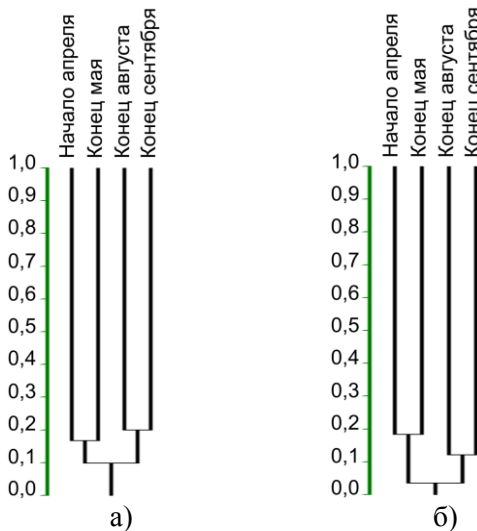


Рис. 3. Дендрограммы степени сходства видового состава представителей отряда *Aranei* в околотовных биотопах Волгоградской агломерации: а) качественный аспект, б) качественно-количественный аспект

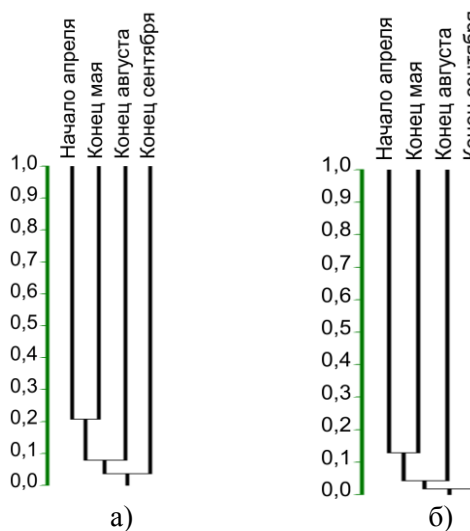


Рис. 4. Дендрограммы степени сходства видового состава представителей отряда *Aranei* в балках и оврагах Волгоградской агломерации: а) качественный аспект, б) качественно-количественный аспект

Выводы

Таким образом, установлено, что во всех биотопах Волгоградской агломерации, как слабо подверженных антропогенному влиянию, так и на урбанизированных территориях, видовой состав пауков значительно изменяется на протяжении теплого сезона года. Почти во всех рассмотренных случаях, кроме околотовных биотопов, видовой состав пауков после летней диапаузы более чем

на 95% отличается от весеннего. Пауки переживают неблагоприятный сезон либо в виде коконов с яйцами (как зимой, так и летом), либо в состоянии анабиоза (в подавляющем большинстве случаев зимой). Более стабильные условия околоводных биотопов позволяют к концу теплого времени года сохраниться в среднем до 10% весенних видов или около 4%, учитывая количество особей. Наибольшим сходством видового состава отличаются два весенних периода: момент выхода из зимней спячки и непосредственно перед летней диапаузой, когда у большинства видов наблюдается рост и расселение молоди, а также размножение половозрелых особей. К концу теплого сезона, поскольку некоторые виды пауков зимуют и во взрослом состоянии, наблюдается частичное восстановление весеннего видового состава во всех изученных биотопах Волгоградской агломерации.

*Авторы выражают благодарность и признательность старшему научному сотруднику
Отдела наземных экосистем Института аридных зон ЮНЦ РАН А.В. Пономареву
за подтверждение достоверности определения видов пауков.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахманов Г. М., Пономарев А. В., Алиева С. В. Аннотированный список видов и родовой анализ фауны пауков (*Aranei*) Дагестана // Биологическое разнообразие Кавказа: Материалы X международной конференции. Назрань, 2008. С. 168–181.
2. Ажеганова Н. С. Краткий определитель пауков (*Aranei*) лесной и лесостепной зоны СССР. Л.: Наука, 1968. Т. 98. 147 с.
3. Дедюхин С. В. Принципы и методы эколого-фаунистических исследований наземных насекомых. Ижевск, 2011. 93 с.
4. Есюнин С. Л. Географическое варьирование населения пауков (*Arachnida: Aranei*) степных и степовидных биоценозов Урала // Виды и сообщества в экстремальных условиях. Москва-София: Товарищество научных изданий КМК PensoftPbl, 2009. С. 394–411.
5. Есюнин С. Л., Ефимик М. Е. Каталог пауков (*Arachnida, Aranei*) Урала. М.: Товарищество научных изданий КМК, 1996. 229 с.
6. Марусик Ю. М. Пауки (*Arachnida, Aranei*) Азиатской части России: таксономия, фауна, зоогеография: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. С-Пб, 2007. 36 с.
7. Матвеев В. А. Животный мир Марийской АССР. Йошкар-Ола, 1988. Ч. 2. Беспозвоночные. С. 44–115.
8. Михайлов К. Г. Каталог пауков (*Arachnida, Aranei*) территории бывшего Советского Союза. М., 1997. 416 с.
9. Питеркина Т. В. Пауки (*Arachnida: Aranei*) Джаныбекского стационара (Западный Казахстан): конкретная фауна в биогеографическом аспекте // Виды и сообщества в экстремальных условиях. Москва-София: Товарищество научных изданий КМК – PensoftPbl, 2009. С. 335–352.
10. Питеркина Т. В., Михайлов К. Г. Аннотированный список пауков (*Aranei*) Джаныбекского стационара // Животные глинистой полупустыни Заволжья (конспекты фаун и экологические характеристики). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 62–88.
11. Пономарев А. В., Белослудцев Е. А., Двандненко К. В. Пауки (*Aranei*) Нижнего Поволжья (Астраханская и Волгоградская области) с описанием новых таксонов // Кавказский энтомологический бюллетень. 2008. № 4 (2). С. 163–185.
12. Пономарев А. В., Хныкин А. С. Пауки (*Aranei*) Волгограда и его окрестностей // Юг России: экология, развитие. 2013. № 4. С. 109–136.
13. Тыщенко В. П. Определитель пауков европейской части СССР. Л.: Наука, 1971. Вып. 105. 281 с.
14. Узенбаев С. Д. К фауне пауков (*Aranei*) Карелии // Фауна и экология членистоногих Карелии. Петрозаводск, 1986. С. 7–28.
15. Чашина О. Е. Пространственно-временная организация населения беспозвоночных животных травостоя (на примере сообществ Ильменского заповедника): Автореф. дисс. канд. биол. наук. Миасс, 2008. 24 с.
16. Roberts M. J. Collins Field Guide: Spiders of Britain & Northern Europe. London: HarperCollins. 1995.
17. Eyunin S. L., Kazantsev D. K. On the spider (*Aranei*) fauna of the Pechoro-Ilychskiy Reserve (North Urals), with the description of a new *Agroeca* species (*Liocranidae*) // *Arthropoda Selecta*. 2007. V. 16. № 4. P. 245–250.
18. Korczycki I., Sienkiewicz P. The influence of the manner of pitfall traps setting in forest habitat on their catchability // *Baltic Journal of Coleopterology*. 2006. V. 6. P. 137–141.
19. Lehtinen P. T. Generic revision of some thomisids related to *Xysticus* CL Koch, 1835 and *Ozyptila* Simon, 1864 // *European Arachnology 2000: Proceedings of the 19th European Colloquium of Arachnology*. Aarhus Univ. Press, Aarhus. 2002. P. 315–327.

20. Mikhailov K. G. The spider fauna of Russia and adjacent regions: a 2009 update // Russian Entomological Journal. 2012. V. 21. № 2. P. 165–168.
21. Prószyński J. Pragmatic classification of the World's Salticidae (Araneae) // *Ecologica Montenegrina*. 2017. V. 12. P. 1–133. <http://dx.doi.org/10.37828/em.2017.12.1>
22. Central European Spiders – Determination key /Edited by von Herausgegeben. Version 6.12.2003 <http://www.araneae.unibe.ch/index.html>
23. JørgenLissner. Spiders of Europe and Greenland. Images and Species Descriptions. <http://www.jorgenlissner.dk/families.aspx>
24. Nachweiskarten der Spinnentiere Deutschlands (Arachnida: Araneae, OpilionesPseudoscorpiones). Fotogalerie <http://www.spiderling.de/arages/Fotogalerie/Fotogalerie.htm>
25. N.I. Platnick. The World Spider Catalog, Version 21.0 <https://wsc.nmbe.ch>
26. Spiders of North-West Europe <http://ednieuw.home.xs4all.nl/Spiders/spidhome.htm>
27. Thorell T. Descriptions of several European and North-African spiders // *Kongl. Svenska Vet.-Akad. Handl.(NF)*. 1875. V. 13. P. 3–203.

REFERENCES

1. Abdurakhmanov, G. M., Ponomarev, A. V., & Alieva, S. V. (2008). Annotirovannyi spisok vidov i rodovoi analiz fauny paukov (*Aranei*) Dagestana. In *Biologicheskoe raznoobrazie Kavkaza: Materialy Kh mezhdunarodnoi konferentsii. Nazran'*, 168-181. (In Russian).
2. Azheganova, N. S. (1968). Kratkii opredelitel' paukov (*Aranei*) lesnoi i lesostepnoi zony SSSR. Leningrad, 98. (In Russian).
3. Dedyukhin, S. V. (2011). Printsipy i metody ekologo-faunisticheskikh issledovaniy nazemnykh nasekomykh. Izhevsk. (In Russian).
4. Esyunin, S. L. (2009). Geograficheskoe var'irovanie naseleniya paukov (*Arachnida: Aranei*) stepnykh i stepoidnykh biotsenozov Urala. In *Vidy i soobshchestva v ekstremal'nykh usloviyakh. Moskva-Sofiya: Tovari-shchestvo nauchnykh izdaniy KMK PensoftPbl*, 394-411. (In Russian).
5. Esyunin, S. L., & Efimik, M. E. (1996). Katalog paukov (*Arachnida, Aranei*) Urala. Moscow. (In Russian).
6. Marusik, Yu. M. (2007). Pauki (*Arachnida, Aranei*) Aziatskoi chasti Rossii: taksonomiya, fauna, zoogeografiya: Avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk. St. Petersburg. (In Russian).
7. Matveev, V. A. (1988). Zhivotnyi mir Mariiskoi ASSR. Ioshkar-Ola, Ch. 2. Bespozvonochnye. 44-115.
8. Mikhailov, K. G. (1997). Katalog paukov (*Arachnidae, Aranei*) territorii byvshego Sovetskogo Soyuza. Moscow. (In Russian).
9. Piterkina, T. V. (2009). Pauki (*Arachnida: Aranei*) Dzhanybekskego stacionara (Zapadnyi Kazakhstan): konkretnaya fauna v biogeograficheskom aspekte. In *Vidy i soobshchestva v ekstremal'nykh usloviyakh*. Moscow, Sofiya, 335-352. (In Russian).
10. Piterkina, T. V., & Mikhailov, K. G. (2009). Annotirovannyi spisok paukov (*Aranei*) Dzhanybekskego stacionara. Zhivotnye glinistoi polupustyni Zavolzh'ya (konspekty faun i ekologicheskie kharakteristiki). Moscow. 62-88. (In Russian).
11. Ponomarev, A. V., Belosludtsev, E. A., & Dvadenko, K. V. (2008). Pauki (*Aranei*) Nizhnego Povolzh'ya (Astrakhanskaya i Volgogradskaya oblasti) s opisaniem novykh taksonov. *Kavkazskii entomologicheskii byulleten'*, (4 (2)). 163-185. (In Russian).
12. Ponomarev, A. V., & Khnykin, A. S. (2013). Pauki (*Aranei*) Volgograda i ego okrestnostei. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, (4). 109-136. (In Russian).
13. Tyshchenko, V. P. (1971). Opredelitel' paukov evropeiskoi chasti SSSR. Leningrad. (In Russian).
14. Uzenbaev, S. D. (1986). K faune paukov (*Aranei*) Karelii. In *Fauna i ekologiya chlenistonogikh Karelii. Petrozavodsk*, 7-28. (In Russian).
15. Chashchina, O. E. (2008). Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya naseleniya bespozvonochnykh zhivotnykh travostoya (na primere soobshchestv Il'menskogo zapovednika), Avtoref. diss. kand. biol. nauk. Miass. (In Russian).
16. Roberts, M. J. (1995). *Collins Field Guide: Spiders of Britain & Northern Europe*. London: HarperCollins.
17. Esyunin, S. L., & Kazantsev, D. K. (2007). On the spider (*Aranei*) fauna of the Pechoro-Ilychskiy Reserve (North Urals), with the description of a new *Agroeca* species (*Liocranidae*). *Arthropoda Selecta*, 16(4), 245-250.
18. Korczycki, I., & Sienkiewicz, P. (2006). The influence of the manner of pitfall traps setting in forest habitat on their catchability. *Baltic Journal of Coleopterology*, 6, 137-141.
19. Lehtinen, P. T. (2002). Generic revision of some thomisids related to *Xysticus* CL Koch, 1835 and *Ozyptila* Simon, 1864. In *European Arachnology 2000: Proceedings of the 19th European Colloquium of Arachnology. Aarhus Univ. Press, Aarhus* (pp. 315-327).

20. Mikhailov, K. G. (2012). The spider fauna of Russia and adjacent regions: a 2009 update. *Russian Entomological Journal*, 21(2), 165-168.
21. Prószyński, J. (2017). Pragmatic classification of the World's Salticidae (Araneae). *Ecologica Montenegro*, 12, 1-133. <http://dx.doi.org/10.37828/em.2017.12.1>
22. Central European Spiders – Determination key / Edited by von Herausgegeben. Version 6.12.2003 <http://www.araneae.unibe.ch/index.html>
23. JørgenLissner. Spiders of Europe and Greenland. Images and Species Descriptions. <http://www.jorgenlissner.dk/families.aspx>
24. Nachweiskarten der Spinnentiere Deutschlands (Arachnida: Araneae, OpilionesPseudoscorpiones). Fotogalerie <http://www.spiderling.de/arages/Fotogalerie/Fotogalerie.htm>
25. N.I. Platnick. The World Spider Catalog, Version 21.0 <https://wsc.nmbe.ch>
26. Spiders of North-West Europe (<http://ednieuw.home.xs4all.nl/Spiders/spidhome.htm>)
27. Thorell, T. (1875). Descriptions of several European and North-African spiders. *Kongl. Svenska Vet.-Akad. Handl.(NF)*, 13, 3-203.

Хныкин А. С., Иванцова Е. А. Сезонные изменения видового состава пауков волгоградской агломерации // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 90–96. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/11>

Hnykin, A. S., & Ivantsova, E. A. (2020). Seasonal variation of spider species composition in Volgograd agglomeration. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 90–96. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/11>

дата поступления: 03 декабря 2019 г.

дата принятия: 21 марта 2020 г.

© Хныкин А.С., Иванцова Е.А.

А. М. Псарев

МАТЕРИАЛЫ К ИЗУЧЕНИЮ ФАУНЫ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ (УСТЬЕ Р. ПЕСЧАНОЙ)

A. M. Psarev

MATERIALS FOR THE STUDY OF THE FAUNA OF COLEOPTERA SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS OF THE ALTAI TERRITORY (THE MOUTH OF THE PESCHANAYA RIVER)

Аннотация. Алтайский край отличается слабой изученностью энтомофауны особо охраняемых природных территорий. В работе впервые приведены результаты исследования некрофильных жесткокрылых на территории памятника природы «Устье реки Песчаной». Сборы проводили с помощью почвенных ловушек с приманкой. Был обнаружен 51 вид из семи семейств жесткокрылых. *Carabidae* и виды других семейств, не относящихся к изучаемой экологической группе, не учитывались. Наиболее многочисленны в видовом отношении были *Staphylinidae* (54,9% от общего числа видов), значительно уступали им *Silphidae* и *Scarabaeidae* (13,7 и 9,8% соответственно), доля остальных четырех семейств (*Histeridae*, *Leiodidae*, *Hydrophilidae*, *Dermestidae*) составила, в общей сложности, 21,6%. Численно доминировали *Silphidae* (*Nicrophorus vespillo*, *Oiceoptoma thoracicum* и др.). К этому же семейству принадлежит и вид-доминант (*Nicrophorus vespilloides*). Обычными и многочисленными были и *Anoplotrupes stercorosus*, *Aphodius rectus* (*Scarabaeidae*), *Sciodrepoides watsoni* (*Leiodidae*). Из стафилинид, наиболее многочисленных в видовом отношении, не было видов-доминантов, лишь три вида (*Philonthus cruentatus*, *Aleochara curtula*, *Drusilla canaliculata*) имели второй класс обилия, остальные были представлены единичными экземплярами, от 1 до 4 особей. У *Staphylinidae*, помимо обычных герпетобионтных и некрофильных видов, в сборах присутствовали виды, характерные для берегов водоемов (*Philonthus quisquiliarius*, *Bledius* sp.), грибов (*Oxyporus maxillosus*, *Gyrophena* sp.). Оценка видового богатства, степени доминирования и выравнинности видов в сообществе некрофильных жесткокрылых показала средние значения индекса Шеннона ($H = 2,2$), индекса Бергера–Паркера ($d = 0, 0,43$) и индекса Пielу ($E = 0, 0,57$).

Ключевые слова: биоразнообразие; Алтай, особо охраняемые природные территории, некрофильные жесткокрылые; *Coleoptera*, *Staphylinidae*; *Silphidae*; *Histeridae*; *Nitidulidae*; *Leiodidae*.

Сведения об авторе: Псарев Александр Михайлович, ORCID: 0000-0003-2370-2729, д-р биол. наук, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина, г. Бийск, Россия, ar-sarev@mail.ru.

Abstract. The Altai Territory is notable for its poorly studied entomofauna of specially protected natural areas. The work first provides the results of the study of the fauna of necrophilous *Coleoptera* on the territory of the natural monument "The Mouth of the Peschanaya River". The collection was conducted with the help of soil traps with bait. 51 species from 7 *Coleoptera* families were found. *Carabidae* and species of other families not belonging to the ecological group under study were not taken into account. *Staphylinidae* was the most numerous in terms of species (54,9% of the total number of species), significantly inferior to *Silphidae* and *Scarabaeidae* (13,7% and 9,8% respectively), the share of the remaining four families (*Histeridae*, *Leiodidae*, *Hydrophilidae*, *Dermestidae*) was 21,6% in total. *Silphidae* (*Nicrophorus vespillo*, *Oiceoptoma thoracicum*, etc.) dominated the numbers. The dominant species (*Nicrophorus vespilloides*) belongs to the same family. Common and numerous were *Anoplotrupes stercorosus*, *Aphodius rectus* (*Scarabaeidae*), *Sciodrepoides watsoni* (*Leiodidae*). Of staphilinids, the most numerous in terms of species were not dominant, only three species (*Philonthus cruentatus*, *Aleochara curtula*, *Drusilla canaliculata*) had the second class of abundance, the rest were single species, from 1 to 4 individuals. In *Staphylinidae*, in addition to the usual herpetobionic and necrophilous species, species characteristic of the banks of reservoirs (*Philonthus quisquiliarius*, *Bledius* sp.), fungi (*Oxyporus maxillosus*, *Gyrophena* sp.) were present in the collections. An assessment of species richness, dominance and equilibrium in the community of necrophilous *Coleoptera* showed average values of Shannon index ($H = 2,2$), Berger-Parker index ($d = 0, 0,43$) and Pielou's evenness index ($E = 0, 0,57$).

Key words: biodiversity; Altai; protected areas; necrophilous beetles; *Coleoptera*; *Staphylinidae*; *Silphidae*; *Histeridae*; *Nitidulidae*; *Leiodidae*.

About the authors: Psarev Alexander Mikhailovich, ORCID: 0000-0003-2370-2729, Dr. habil., The Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Russia, apsarev@mail.ru.

Введение

По мнению большинства экологов, охранять следует не виды как таковые, судьба которых определяется эволюционными процессами, а их естественные местообитания, сообщества, геосистемы регионального и локального уровней. С этой целью создаются особо охраняемые природные территории (ООПТ). В Алтайском крае функционирует 107 различных ООПТ, и системное изучение энтомофауны таких участков является важной задачей с точки зрения организации мониторинга состояния охраняемых территорий в целом. Между тем, сведения о фауне не только насекомых ООПТ Алтайского края, но и беспозвоночных в целом, крайне скудны, и охватывают лишь небольшое количество таксонов. Из современных данных заслуживает внимания сводка по Тигирекскому заповеднику, на территории которого энтомологические исследования систематически проводятся уже около двадцати лет, включающая около 1760 видов насекомых [2].

Данная работа посвящено некрофильным жесткокрылым, которые являются неотъемлемым элементом деструктивного блока экосистем и способствуют их нормальному функционированию, выполняя разнообразные функции, в зависимости от трофической специализации – от участия в минерализации мертвой органики до регуляции численности популяций других беспозвоночных, связанных с падалью. Сведения о фауне некрофильных жесткокрылых ООПТ региона немногочисленны [1; 3; 5; 6].

Материал и методы исследования

Исследования проводились на территории комплексного памятника природы «Устье реки Песчаной», созданного в 2000 г., который располагается в Смоленском районе Алтайского края, в окрестностях села Песчаного. Назначением его стала охрана типичных и уникальных эталонных сообществ поймы р. Оби, а также использование в научных, учебных, рекреационных, эстетических, водоохраных и ресурсосберегающих целях. Охраняемая территория площадью 400 га располагается в окрестностях села и представляет собой труднодоступную болотистую дельту с протоками и старицами. В состав природного комплекса входят старые пойменные осокоревые леса (*Populus nigra* L., 1753) по берегу р. Оби, заросли боярышников кроваво-красного и алтайского (*Crataegus sanguinea* Pall., 1784, *C. altaica* (Loudon) Lange) по опушке осокоревых леса и ивняков по берегам рек, пойменные луга, низинные болота, разнотравно-злаковые луговые степи в сочетании с березовыми колками. Здесь произрастают виды растений, редкие для Алтайского края: леерсия рисовидная (*Leersia oryzoides* Sw., 1788), осока береговая (*Carex riparia* Curt., 1783) и др. Устье р. Песчаной – излюбленное место отдыха и гнездования множества уток, чирков, куликов, серых цапель и многих других видов птиц. Фауна беспозвоночных не изучалась [4].

С целью изучения фауны некрофильных жесткокрылых в течение 2015–2016 гг. были обследованы лесные участки в восточной части территории памятника природы, включающей берег болота, заросли ивняка, участки березового и смешанного (береза+сосна) леса с густым подлеском. Сбор жесткокрылых проводили с помощью почвенных ловушек. Было отработано 220 ловушко-суток, в течение которых было собрано 975 экз. жесткокрылых из семи семейств, виды *Carabidae* и других семейств, не относящихся к изучаемой экологической группе, не учитывались.

Для оценки относительного обилия видов использовалась 5-балльная шкала, построенная на логарифмической основе [3], верхние границы серии классовых интервалов при шаге a рассчитывались по формуле:

$$N^{a/k}, (a = 1, 2, \dots, k),$$

где N – объем всей выборки, a – шаг шкалы, k – число классов.

Величина a -го классового интервала (длины интервала a -го шага шкалы) вычислялась по формуле:

$$b_a = N^{a/k} - N^{(a-1)/k}.$$

В результате были выделены следующие классы обилия (табл. 1):

Для оценки видового богатства, степени доминирования и выравниваемости видов в сообществе некрофильных жесткокрылых мы использовали получившие признание экологов индексы – индекс Шеннона (H), индекс Бергера–Паркера (d) и индекс Пиелу (E) [3].

Таблица 1

Пятибалльная логарифмическая шкала оценки относительного обилия некрофильных жесткокрылых ООПТ «Устье реки Песчаной»

Балл, <i>a</i>	Граница классового интервала		Характеристика обилия
	нижняя	верхняя	
1	1	4	редкие
2	5	16	малочисленные
3	17	62	обычные
4	63	246	многочисленные
5	247	975	доминирующие

Результаты и их обсуждение

Сведения о видовом составе и обилии отдельных видов некрофильных жесткокрылых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Видовой состав некрофильных жесткокрылых ООПТ «Устье реки Песчаная»

Coleoptera	Класс обилия	Coleoptera	Класс обилия
<i>Silphidae</i>		<i>Staphylinidae</i>	
<i>Silpha carinata</i> Herbst, 1783	2	<i>Omalius rivulare</i> Paykull, 1789	1
<i>Oiceoptoma thoracicum</i> Linnaeus, 1758	3	<i>Megarthus denticollis</i> Beck, 1817	1
<i>Thanatophilus rugosus</i> Linnaeus, 1758	1	<i>Bledius</i> sp.	1
<i>Nicrophorus investigator</i> Zetterstedt, 1824	3	<i>Quedius fuliginosus</i> Gravenhorst, 1802	1
<i>Nicrophorus vespillo</i> Linnaeus, 1758.	4	<i>Philonthus addendus</i> Sharp, 1867	1
<i>Nicrophorus vespilloides</i> Herbst, 1784	5	<i>Philonthus quisquiliarius</i> Gyllenhal, 1810	1
<i>Nicrophorus sepultor</i> Charpentier, 1825	3	<i>Philonthus politus</i> Linnaeus, 1758	1
<i>Scarabaeidae</i>		<i>Philonthus punctus</i> Gravenhorst, 1802	1
<i>Anoplotrupes stercorosus</i> Scriba, 1791	4	<i>Philonthus parvicornis</i> Gravenhorst, 1802 (= <i>agilis</i> Gravenhorst)	1
<i>Onthophagus nuchicornis</i> Linnaeus, 1758	1	<i>Philonthus ebeninus</i> Gravenhorst, 1802 (= <i>setosus</i> J. Sahlberg)	1
<i>Onthophagus gibbulus</i> Pallas, 1781	2	<i>Philonthus cruentatus</i> Gmelin, 1790	2
<i>Aphodius rectus</i> Motschulsky, 1866	3	<i>Philonthus marginatus</i> O. Muller, 1764 (= <i>marginatus</i> Strom)	1
<i>Aphodius fimetarius</i> Linnaeus, 1758	1	<i>Philonthus nitidus</i> Fabricius, 1787	1
<i>Leiodidae</i>		<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	1
<i>Amphicyllis globus</i> Fabricius, 1792	1	<i>Creophylus maxillosus</i> Linnaeus, 1758	1
<i>Sciodrepoides fumatus</i> Spence, 1815	1	<i>Ontholestes murinus</i> Linnaeus, 1758	1
<i>Sciodrepoides watsoni</i> Spence, 1815	3	<i>Oxyporus maxillosus</i> Fabricius, 1798	1
<i>Leiodes</i> sp.	1	<i>Lorditon lunulatus</i> Linnaeus, 1760	1
<i>Dermestidae</i>		<i>Lorditon thoracicus</i> Fabricius, 1777 (= <i>pygmaeus</i> F.)	1
<i>Dermestes lanarius</i> Illiger, 1801	1	<i>Leptacinus</i> sp.	1
<i>Histeridae</i>		<i>Tachinus rufipes</i> Linnaeus, 1758 (= <i>signatus</i> Gravenhorst)	1
<i>Hister unicolor</i> Linnaeus, 1758	1	<i>Tachinus laticollis</i> Gravenhorst, 1802	1
<i>Saprinus semistriatus</i> Scriba, 1790	2	<i>Tachyporus nitidulus</i> Fabricius, 1781	1
<i>Saprinus aeneus</i> Fabricius, 1775	1	<i>Aleochara curtula</i> Goeze, 1777	2
<i>Margarinotu striola</i> C.Sahlberg, 1819	1	<i>Aleochara</i> sp.1	1
<i>Hydrophylidae</i>		<i>Drusilla canaliculata</i> Fabricius, 1787	2
<i>Cercyon</i> sp. (? <i>pygmaeus</i>)	1	<i>Gyrophena</i> sp.	1
<i>Pachysternum haemorrhoum</i> Motschulsky, 1866	1	<i>Aleocharinae</i> gen. sp.	2

Видовое богатство сообщества некрофильных жесткокрылых оценивали с помощью индекса Шеннона (*H*), который характеризует разнообразие и выравненность в сообществе, т. е. чем боль-

ше видов в сообществе и чем меньше отличаются они по численности, тем выше значение индекса. Индекс Шеннона обычно варьирует от 1,5 до 3,5, очень редко превышая 4,5. Для изученной нами территории индекс Шеннона составил 2,2, что близко к среднему значению.

Наиболее многочисленны в видовом отношении были *Staphylinidae* (54,9% от общего числа видов), значительно уступали им *Silphidae* и *Scarabaeidae* (13,7% и 9,8% соответственно), доля остальных четырех семейств составила, в общей сложности, 21,6%.

При оценке относительного обилия видов картина несколько изменилась (табл. 2). Основная часть видов обычных и многочисленных (3–4 балл обилия) относилась к *Silphidae* (*Nicrophorus vespillo*, *Oiceoptoma thoracicum* и др.), к этому же семейству принадлежит и вид-доминант (*Nicrophorus vespilloides*). Обычными и многочисленными были и *Anoplotrupes stercorosus*, *Aphodius rectus* (*Scarabaeidae*), *Sciodrepoides watsoni* (*Leiodidae*). Из стафилинид, наиболее многочисленных в видовом отношении, не было видов-доминантов, лишь три вида (*Philonthus cruentatus*, *Aleochara curtula*, *Drusilla canaliculata*) имели второй класс обилия, остальные были представлены единичными экземплярами, от 1 до 4 особей. У *Staphylinidae*, помимо обычных герпетобионтных и некрофильных видов, в сборах присутствовали виды, характерные для берегов водоемов (*Philonthus quisquiliarius*, *Bledius* sp.), грибов (*Oxyporus maxillosus*, *Gyrophena* sp.).

Хотя индекс Шеннона и учитывает выравненность видовых обилий, для ее оценки обычно дополнительно используется индекс Пиелу (*E*). Величина индекса Пиелу изменяется от 0 до 1, при единице сообщество характеризуется равным обилием всех видов. В нашем случае индекс Пиелу равен 0,57, что указывает на относительную однородность сообщества.

Для выявления отношений доминирования видов в сообществе широко используется непараметрический индекс доминирования Бергера–Паркера (*d*), который показывает степень доминирования лишь одного, наиболее массового вида. Этот индекс принимает значения от 0 до 1, и чем выше индекс, тем меньше разнообразие и выше доля доминирующего вида. Значение индекса Бергера–Паркера для нашей выборки составило 0,43, что свидетельствует о достаточно высокой степени доминирования наиболее обильного вида (*Nicrophorus vespilloides*).

Оценивая в целом фауну некрофильных жесткокрылых обследованной территории, можно отметить, что она характерна для региона. Относительно небогатый видовой состав и численность группировки на обследованном участке памятника природы объясняется, на наш взгляд, тем, что значительная часть его территории подвергается затоплению во время весенних паводков, а также малым количеством субстрата, обеспечивающего существование личинок и имаго жуков. На территории памятника природы и по периметру его границ отсутствуют фермы, свалки и т. п. скопления гниющей органики, нет мест, пригодных для рекреации из-за обилия кровососущих насекомых, поэтому основным источником, дающим пищу и возможность развития жесткокрылым в этих условиях, являются трупы мелких позвоночных (лягушек, грызунов, насекомоядных, птиц) и гниющая растительность по берегам водоемов.

Автор выражает глубокую признательность сотруднику института систематики и экологии животных СО РАН В.К. Зинченко за долговременное сотрудничество и помощь в определении материала.

Исследования выполнены при частичной поддержке гранта РФФИ р_сибирь_а № 14-04-98003.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биота Тигирекского заповедника. Труды Тигирекского заповедника. 2011. Вып. 4. 235 с.
2. Зинченко В. К., Кругова Т. М. Аннотированный список жуков подсемейства Cholevinae (Insecta: Coleoptera, Leiodidae) Тигирекского заповедника (Северо-Западный Алтай) // Труды Тигирекского заповедника. 2017. № 9. С. 63–67.
3. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука. 1982.
4. Памятники природы Алтайского края / Отв. ред. М. М. Силантьева, А. Н. Дубров. Барнаул: Концепт. 2011.
5. Псарев А. М., Материалы к фауне жесткокрылых планируемого национального парка «Горная Кольвань» // Вестник Нижневартского государственного университета. 2018. № 3. С. 83–88.
6. Псарев А. М., Зинченко В. К. Сапрофильные жесткокрылые Кольванского озера // Труды Тигирекского заповедника. 2015. № 7. С. 225–229.

REFERENCES

1. Biota Tigirekского zapovednika (2011). *Trudy Tigirekского zapovednika*, 4. (in Russian).
2. Zinchenko, V. K., & Krugova, T. M. (2017). Annotated checklist of the Beetles of Subfamily cholevinae (Insecta: Coleoptera, Leioididae) of the Tigirek State Nature Reserve (Nortn-Western Altai). *Trudy Tigirekского zapovednika*, (9). 63-67 (in Russian).
3. Pesenko, Yu. A. (1982). *Printsiipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh*. Moscow. (in Russian).
4. *Pamyatniki prirody Altaiskogo kraya* (2011). Otv. red. M. M. Silant'eva, A. N. Dubrov. Barnaul. (in Russian).
5. Psarev, A. M. (2018). On the Coleoptera fauna of the planned national park. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3). 83-88. (in Russian).
6. Psarev, A. M., & Zinchenko, V. K. (2015). Saprophilous Coleoptera of Kolyvanskoe Lake. *Trudy Tigirekского zapovednika*, (7). 225-229. (in Russian).

Псарев А. М. Материалы к изучению фауны жесткокрылых особо охраняемых природных территорий Алтайского края (устье р. Песчаной) // Вестник Нижнеуртского государственного университета. 2020. № 2. С. 97–101. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/12>

Psarev, A. M. (2020). Materials for the study of the fauna of Coleoptera specially protected natural areas of the Altai territory (the mouth of the Peschanaya river). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 97–101. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/12>

дата поступления: 10 марта 2020 г.

дата принятия: 09 мая 2020 г.

© Псарев А.М.

В. П. Стариков

**ЭКТОПАРАЗИТЫ СТЕПНОЙ ПЕСТРУШКИ
LAGURUS LAGURUS PALLAS, 1773 ЮЖНОГО
ЗАУРАЛЬЯ (КУРГАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) В СВЯЗИ
С ПРИРОДНОЙ ОЧАГОВОСТЬЮ ТУЛЯРЕМИИ**

V. P. Starikov

ECTOPARASITES OF A STEPPE LEMMING *LAGURUS LAGURUS* PALLAS, 1773 IN THE SOUTH TRANS-URAL REGION (KURGAN OBLAST) IN CONNECTION WITH THE NATURAL FOCI OF TULAREMIA

Аннотация. Степная пеструшка Южного Зауралья – редкий вид открытых пространств. На север ее распространение ограничено подзоной разнотравно-дерновинно-злаковых степей и южной полосой подзоны лесостепи. В представленной работе обобщен материал, где приводится полный видовой состав паразитических членистоногих этого грызуна, приведены количественные характеристики эктопаразитов. Всего на наличие эктопаразитов исследовано 155 особей и одно гнездо степной пеструшки. Очесано 808 паразитических членистоногих 20 видов, среди которых 14 видов гамазовых клещей, 2 вида иксодовых клещей и 4 вида (подвида) блох. По количеству особей эктопаразитов, прокармливаемых на степной пеструшке, ярко выражено доминирование гамазовых клещей, как широко распространенных многохозяинных видов, так и специфических, свойственных для других грызунов (серые и лесные полевки, обыкновенная слепушонка, водяная полевка, лесная мышовка). Вклад иксодовых клещей и блох в паразитофауну степной пеструшки невелик. Степная пеструшка, несомненно, может вовлекаться в циркуляцию возбудителя туляремии в Южном Зауралье, но как дополнительный носитель в поддержании очага в биотопах, где она контактирует с местами обитания водяной полевки.

Ключевые слова: степная пеструшка; гамазовые и иксодовые клещи; блохи; Южное Зауралье; туляремия.

Abstract. Steppe lemming of the South Trans-Ural region is a rare species of open spaces. To the north, its distribution is limited to the subzone of herb-bunchgrass steppes and the southern strip of the forest-steppe subzone. The presented work summarizes the material, which gives the full species composition of the parasitic arthropods of this rodent, and gives quantitative characteristics of ectoparasites. In total 155 individuals and one nest of steppe lemming were examined for ectoparasites. There are 808 parasitic arthropods of 20 species, including 14 species of gamasid mites, 2 species of ixodid ticks and 4 species (subspecies) of fleas. According to the number of individuals of ectoparasites feeding on the steppe lemming, the dominance of gamasid mites is strongly pronounced, both prevailing multi-host species and specific, typical for other rodents (gray and red-backed voles, northern mole vole, Eurasian water vole, northern birch mouse). The contribution of ixodid ticks and fleas to the parasitofauna of the steppe lemming is small. Steppe lemming can be involved in circulation of a causative agent of tularemia in the South Trans-Ural region, but as an additional carrier in maintenance of a foci in biotopes, where it contacts the habitats of the Eurasian water vole.

Key words: steppe lemming; gamasid mites; ixodid ticks; fleas; the South Trans-Ural region; tularemia.

Сведения об авторе: Стариков Владимир Павлович, SPIN-код: 1145-0837, д-р биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, vp_starikov@mail.ru.

About the authors: Starikov Vladimir Pavlovich, SPIN-code: 1145-0837, Dr. habil., Surgut State University, Surgut, Russia, vp_starikov@mail.ru.

Мелкие млекопитающие (насекомоядные и грызуны) и их эктопаразиты постоянно привлекают внимание исследователей как возможные участники циркуляции возбудителей природно-очаговых болезней. Не исключением является и степная пеструшка, которая, наряду с другими мелкими млекопитающими по степени восприимчивости и инфекционной чувствительности к туляремии отнесена к первой группе [12; 24]. Данное заболевание с разной периодичностью регистрируется на территории Курганской области [22; 23]; здесь основной носитель туляремийной инфекции – водяная полевка *Arvicola amphibius* Linnaeus, 1758. Ежегодно заболеваемость туляремией среди населения в Курганской области регистрируется в количестве 0–2 случая [8].

Паразитофауна степной пеструшки всесторонне исследована в Казахстане. Эти сведения можно найти в специальных обзорах по пеструшке [2; 15; 32; 39]. Авторы, ссылаясь на паразитологические исследования коллег, указывали ряд видов блох, гамазовых и иксодовых клещей. Паразитологические материалы по Волго-Уральскому междуречью приводил Ю.А. Дубровский (1979) [11]. Здесь чаще всего на пеструшке встречались блохи *Stenophthalmus breviatus* Wagner et Ioff, 1926 и *Ct. pollex* Wagner et Ioff, 1926 малого суслика *Spermophilus pygmaeus* Pallas, 1778 и других степных грызунов, отмечено 6 видов иксодовых клещей, 3 вида гамазид – обитателей гнезда и шерсти зверьков. В Волжско-Камском крае на степной пеструшке И.В. Назарова (1981) регистрировала блох – *Stenophthalmus wagneri* Tifov, 1928 и *Ct. orientalis* Wagner, 1898 [20].

На территории Западной Сибири в Северной Кулунде наиболее многочисленной блохой степной пеструшки была *Stenophthalmus arvalis* Wagner et Ioff, 1926, на её долю приходилось почти 90% от всех учтенных блох [31]. Здесь же изредка встречались *Citellophilus tesquorum* (Wagner, 1898), *Megabothris walkeri* (Rothschild, 1902) и *Stenophthalmus assimilis* (Taschenberg, 1880). На юге Новосибирской области (Купинский район) В.М. Попов (1945) на степной пеструшке регистрировал два вида блох – *Citellophilus tesquorum* (Wagner, 1898) и *Stenophthalmus arvalis* Wagner et Ioff, 1926 [28]. Наиболее полно состав блох степной пеструшки выявлен в Омской области [1]. На этом зверьке паразитирует 7 видов и подвидов блох – *Citellophilus tesquorum transvolgensis* (Ioff, 1936), *Frontopsylla elata popovi* Lebedev. 1953, *Amphipsylla kuznetzovi* Wagner, 1912, *Amphipsylla prima* Wagner, 1928, *Pectinocenus pavlovskii* Ioff, 1928, *Stenophthalmus assimilis* (Taschenberg, 1880) и *Stenophthalmus breviatus* Wagner et Ioff, 1926.

В Западной Сибири изучением гамазовых клещей этого вида плодотворно занимались М.С. Давыдова и В.В. Никольский и др. [7; 9; 10; 18; 28; 40]. Они, в частности, отмечали, что на пеструшке наиболее многочисленный вид – *Androlaelaps glasgowi* (Ewing, 1925). Встречаются на этом зверьке паразиты и других степных грызунов – *Androlaelaps semidesertus* (Bregetova, 1952), *Haemogamasus citelli* Bregetova et Nel'zina, 1952. Обычны на пеструшке и многохозяинные паразиты – *Eulaelaps kolpakovae* Bregetova, 1950, *Haemogamasus mandschuricus* Vitzthum, 1930, *Hg. nidi* Michael, 1892. Таким образом, в подавляющем большинстве работ, характеризующих паразитофауну степной пеструшки Западной Сибири приводиться материал лишь по одной группе эктопаразитов. Нами была поставлена цель, вне зависимости от давности сборов биоматериала, оценить состав паразитофауны комплексно (блохи, гамазовые клещи, иксодовые клещи).

Степная пеструшка в Южном Зауралье редкий вид открытых пространств. По территории Курганской области проходит северная граница ареала. Несмотря на имеющиеся немногочисленные публикации по паразитофауне мелких млекопитающих [7; 17; 19; 22; 33; 35; 34], она долгое время не была предметом специальных паразитологических исследований. Лишь в 1980–1990-е годы стал накапливаться материал по видовому составу эктопаразитов степной пеструшки [36], однако эта единственная краткая публикация носила тезисный характер, преимущественно отражала фоновые виды эктопаразитов данного грызуна. В представленной работе обобщен материал, где приводится полный видовой состав паразитических членистоногих степной пеструшки, количественные характеристики эктопаразитов, особенности их распространения в Южном Зауралье.

Территория исследования (Курганская область) характеризуется следующим. Область простирается в пределах между 54–57° с.ш. и 61–69° в.д., на западе граничит с Челябинской и Свердловской областями, на севере и северо-востоке – с Тюменской областью, на юге и юго-востоке – с Казахстаном. Территория Южного Зауралья расположена на границе леса и степи. В соответствии со схемой геоботанического районирования Западной Сибири [13] с севера на юг в Курганской области сменяется 4 полосы растительности. Для подтайжной подзоны бореальной (тайжной) зоны, выделяемой на севере области, наиболее характерны мелколиственные и сосновые леса в сочетании с практически полным отсутствием степей и солончаковых сообществ. Болотная растительность подтайги представлена обширными по занимаемой площади лесными низинными и верховыми (сфагновыми) болотами. Большая часть территории Курганской области относится к подзоне лесостепи степной зоны [21].

Характерная особенность лесостепи – наличие двух зональных типов растительности луговых степей и колючих мелколиственных лесов. Значительны по занимаемой площади солонцовые и солончаковые сообщества, болота, сообщества водной и прибрежной растительности; высокие террасы речных долин заняты сосновыми лесами. Достаточно условно по соотношению пло-

щадей лесной и безлесной растительности Зауральская лесостепь делится на полосы северной и южной лесостепи. Подзона разнотравно-дерновинно-злаковой степей, охватывающая юг Курганской области, отличается резким сокращением лесов и мезофитных лугов, практически полным отсутствием верховых болот и значительным усилением роли степей и солончаков в сложении растительного покрова.

Материал и методика

В основу работы положены материалы и наблюдения, накопленные за 1980–1996 гг. на территории Курганской области. Учёты мелких млекопитающих проводились на всей территории области, степная пеструшка отлавливалась только в подзоне разнотравно-дерновинно-злаковых степей и подзоне лесостепи в южной её полосе. Учёт эктопаразитов осуществляли по общепринятым методикам путём счёсывания со зверьков, а также проведены их сборы из гнезда [6; 14]. Всего за время работы на зараженность эктопаразитами осмотрено 155 степных пеструшек (+ одно гнездо), с которых учтено 808 паразитических членистоногих. Латинские названия видов гамазовых клещей приведены по М. В. Винарскому и Н. П. Коралло-Винарской [41; 42], иксодовых клещей – по В. В. Якименко [40], блох – по электронной базе данных Зоологического института РАН «Блохи (Siphonaptera)» [5].

В работе использованы общепринятые в паразитологии индексы: встречаемости, обилия и средней интенсивности заражения [3].

Русские и латинские названия видов мелких млекопитающих, сопутствующие основному объекту изучения (степная пеструшка), приведены по сводке И. Я. Павлинова и А. А. Лисовского [26].

Проверку статистической значимости значений индекса встречаемости проводили по формуле, предложенной К. П. Фёдоровым [38]:

$$t_{dif} = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{M_{P1}^2 + M_{P2}^2}} \quad M_P = \sqrt{\frac{P(100 - P)}{n}}$$

где P_1 и P_2 – сравниваемые показатели встречаемости, %; M_{P1} , M_{P2} – их ошибки; n – число исследованных зверьков [38].

Критерий достоверности разностей показателей индекса обилия определяли по формуле, предложенной П. В. Терентьевым и Н. С. Ростовской [37]:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{F}; \quad F = \sqrt{\frac{S_1^2(n-1) + S_2^2(n-1)}{n_1 + n_2 - 2}} \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$$

где X_1 , X_2 – сравниваемые показатели индексов обилия; S_1^2 , S_2^2 – их среднеквадратические отклонения; n_1 , n_2 – размеры сравниваемых выборок.

Результаты и обсуждение

Многолетние паразитологические исследования в Южном Зауралье позволили выявить 20 видов эктопаразитов степной пеструшки. В сборах со зверьков и из гнездовой подстилки пеструшки доля гамазовых клещей превышала 96% (табл. 1 и 2). Менее 4% приходилось на иксодовых клещей и блох. Всего зарегистрировано 14 видов паразитических гамазид (табл. 2).

Таблица 1

Распределение групп эктопаразитов на степной пеструшке Курганской области (1982–1996 гг.)

Группы эктопаразитов	Число исследованных зверьков	Заражённых зверьков	Собрано эктопаразитов	Показатели заражения		
				Индекс встречаемости, %	Индекс заражения, экз.	Индекс обилия, экз.
Гамазовые клещи	155	69	354	44,52	5,13	2,28
Иксодовые клещи	155	3	5	3,25	1,67	0,03
Блохи	155	3	8	5,19	2,67	0,05

Примечание: *индекс встречаемости* – число заражённых особей в процентах от исследованных; *индекс заражения* – среднее число особей паразитов данной группы, приходящееся на одну заражённую ими особь хозяина; *индекс обилия* – среднее число паразитов, приходящееся на одного исследованного зверька.

Таблица 2

Эктопаразиты степной пеструшки Курганской области (1980–1996 гг.)

Эктопаразиты	Степная зона						Всего	
	подзона раз- нотравно- дерновинно- злаковых степей	подзона лесостепи						
		полоса южной лесостепи		сборы со зверьков	сборы из гнезда			
		п	%			п	%	
<i>Androlaelaps glasgowi</i> (Ewing, 1925)	198	64,92	22	35,49	385	87,30	605	74,88
<i>Androlaelaps dogielli</i> (Schulman, 1957)	1	0,33	-	-	-	-	1	0,12
<i>Androlaelaps ellobii</i> (Bregetova, 1952)	65	21,31	12	19,35	-	-	77	9,54
<i>Eulaelaps stabularis</i> (C.L. Koch, 1836)	6	1,97	1	1,61	2	0,45	9	1,11
<i>Laelaps muris</i> (Ljungh, 1799)	1	0,33	-	-	-	-	1	0,12
<i>Laelaps hilaris</i> C.L. Koch, 1836	5	1,64	1	1,61	-	-	6	0,74
<i>Laelaps clethrionomydis</i> Lange, 1955	7	2,29	7	11,29	-	-	14	1,73
<i>Laelaps algericus</i> Hirst, 1925	1	0,33	-	-	-	-	1	0,12
<i>Hyperlaelaps arvalis</i> (Zakhvatkin, 1948)	2	0,66	-	-	-	-	2	0,25
<i>Haemogamasus nidi</i> Michael, 1892	17	5,56	2	3,23	-	-	19	2,35
<i>Haemogamasus nidiformes</i> Bregetova, 1955	-	-	-	-	33	7,49	33	4,08
<i>Haemogamasus kitanoi</i> Asanuma, 1948	1	0,33	-	-	-	-	1	0,12
<i>Hirstionyssus ellobii</i> Bregetova, 1956	-	-	3	4,84	-	-	3	0,37
<i>Hirstionyssus isabellinus</i> Oudemans, 1913	-	-	2	3,23	-	-	2	0,25
<i>Dermacentor reticulatus</i> Fabricius, 1794	-	-	4	6,45	-	-	4	0,50
<i>Dermacentor marginatus</i> Sulzer, 1776	1	0,33	-	-	1	0,23	2	0,25
<i>Ctenophthalmus assimilis</i> (Taschenberg, 1880)	-	-	3	4,84	16	3,63	19	2,35
<i>Ctenophthalmus arvalis</i> Wagner et Ioff, 1926	-	-	4	6,45	-	-	4	0,50
<i>Amphipsylla prima</i> Wagner, 1928	-	-	1	1,61	2	0,45	3	0,37
<i>Frontopsylla elata popovi</i> Lebedev, 1953	-	-	-	-	2	0,45	2	0,25
Всего	305	100	62	100	441	100	808	100
Видов	12		12		7		20	

Примечание: жирным выделены доминирующие виды

На зверьках, и особенно в сборах из гнезда доминировал гнездово-норовый клещ *A. glasgowi*. Это не случайно, он привязан к полевым и луговым биотомам [18; 19; 30], тяготеет к безлесным и редколесным зональным ландшафтам [10], обладает широким кругом хозяев. В сборах со зверьков в группу доминантов также входил гамазовый клещ *A. ellobii* (специфический паразит обыкновенной слепушонки), а в южной лесостепи и *L. clethrionomydis* (свойствен роду лесных полевков). Однако в отношении последнего вида в ряде регионов для него выражена способность к смене хозяев. В отсутствии лесных полевков или их низкой численности он может переходить на узкочерепную полевку *Lasiopodomys gregalis* Pallas, 1779, полевку-экономку *Alexandromys oeconotus* Pallas, 1776 [4; 16]. Подобную ситуацию мы не исключаем и для территории наших исследований, особенно подзоны разнотравно-дерновинно-злаковых степей. Немногочисленные находки некоторых паразитических видов (*A. dogielli*, *A. ellobii*, *Hi. ellobii*, *L. muris*, *L. hilaris*) указывают на контакты степной пеструшки с другими грызунами, для которых эти виды специфичны. Для *L. muris*, *L. hilaris*, а также *A. glasgowi*, *Hg. nidi*, *L. algericus*, *E. stabularis* в природных очагах туляремии доказано спонтанное носительство *Francisella tularensis*, равно как и для ряда иксодовых клещей, в том числе паразитирующих на степной пеструшке Южного Зауралья – *D. reticulatus* и *D. marginatus* [27; 29]. Для двух (*Ct. assimilis* и *Ct. arvalis*) из четырёх отмеченных на степной пеструшке видов и подвидов блох Южного Зауралья также известна естественная зараженность туляремийным микробом [25].

По мнению этих авторов роль блох и гамазовых клещей сводится к передаче *F. tularensis* механическим путём. Их значение особенно возрастает в период разлитых эпизоотий. В то же время ведущим компонентом биоценоза в циркуляции возбудителя туляремийной инфекции в природных очагах являются иксодовые клещи как биологические хозяева туляремийного микроба. На изученной территории, на степной пеструшке численность иксодовых клещей в исследуемый

период была очень низкой, их роль в поддержании циркуляции туляремийного микроба невелика. Установленные значения индексов встречаемости и обилия (табл. 3) не имели статистически значимых различий ($t_{diff}=0,16$ – сеголетки и $1,99$ – взрослые для индекса встречаемости и $t_{(20, 0,05)}=0,07$ – сеголетки и $t_{(48, 0,05)}=0,55$ – взрослые). Тем не менее, показатели в большей степени различались в группе взрослых особей.

Таблица 3

Половозрастные особенности заражённости эктопаразитами степной пеструшки Курганской области (1980–1996 гг.)

Возрастная группа	n	Самки		n	Самцы	
		индекс встречаемости, %	индекс обилия, экз.		индекс встречаемости, %	индекс обилия, экз.
сеголетки	38	36,84	1,18	23	34,78	1,09
взрослые	52	44,23	3,73	42	64,29	2,45

Выводы

1. Распространение степной пеструшки в Курганской области ограничено подзоной разнотравно-дерновинно-злаковых степей и южной полосой подзоны лесостепи.
2. Состав эктопаразитов изученной территории включает представителей лесной, лесостепной и степной паразитофауны, с ярко выраженным доминированием двух последних.
3. В Южном Зауралье на степных пеструшках и в гнездовой подстилке этого грызуна установлено наличие трёх групп паразитических членистоногих, относящихся к 20 видам.
4. В подавляющем большинстве для степной пеструшки характерно преобладание гамазовых клещей. Участие в паразитировании иксодовых клещей и блох незначительно.
5. В Южном Зауралье для степной пеструшки характерных эктопаразитов (за исключением блохи *Amphipsylla prima*) не установлено, но она является прокормителем гамазовых клещей, специфических для других мелких млекопитающих (серых и лесных полевков, обыкновенной слепушонки *Ellobius talpinus* Pallas, 1770, водяной полевки *Arvicola amphibius* L., 1758, лесной мышовки *Sicista betulina* Pallas, 1779), а также широко распространенных многохозяинных видов. Отсюда степная пеструшка может вовлекаться в циркуляцию возбудителя туляремии как дополнительный носитель в поддержании очагов в биотопах, где она контактирует с местами обитания водяной полёвки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алифанов В. И. Материалы к изучению фауны блох Омской области // Известия Иркутского гос. науч.-исслед. противочумного ин-та Сибири и Дальнего Востока. 1960. Т. 23. С. 316–322.
2. Афанасьев А. В., Бажанов В. С., Корелов М. Н., Слудский А. А., Страутман Е. И. Звери Казахстана. Алма-Ата: АН КазССР. 1953.
3. Беклемишев В. Н. Термины и понятия, необходимые при количественном изучении популяций эктопаразитов и нидиколов // Зоологический журнал. 1961. Т. 40. Вып. 2. С. 149–158.
4. Беляев В. Г. К изучению фауны и экологии гамазовых клещей Магаданской области // Первое академическое совещание (тез. докл.). М.-Л.: Наука, 1966. С. 29–30.
5. Блохи (Siphonaptera). Режим доступа: https://www.zin.ru/Animalia/Siphonaptera/index_htm. (дата обращения: 30.08.2018).
6. Брегетова Н. Г. Гамазовые клещи (Gamasoidea). Краткий определитель. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1956.
7. Гибет Л. А., Никифоров Л. П. Материалы по иксодовым клещам лесостепи Западной Сибири // Зоологический журнал. 1959. Т. 38. Вып. 12. С. 1806–1812.
8. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Курганской области в 2007 году». Курган, 2008.
9. Давыдова М. С. Фаунистические комплексы гамазовых клещей в ландшафтных зонах Западной Сибири // Первое академическое совещание: тез. докл. М.-Л.: Наука. 1966. С. 77–78.
10. Давыдова М. С., Никольский В. В. Гамазовые клещи Западной Сибири. Новосибирск: Наука. 1986.
11. Дубровский Ю. А. Род *Lagurus* Gloger, 1841 – Пеструшки // Медицинская териология. М.: Наука, 1979. С. 145–149.
12. Дунаева Т. Н. Экспериментальное исследование туляремии у диких животных (грызуны, хищные, насекомоядные) как основа изучения природных очагов этой инфекции // Зоологический журнал. 1954. Т. 33. Вып. 2. С. 296–318.

13. Ильина И.С., Лапшина Е.И., Махно В.Д., Романова Е.А. Геоботаническое районирование. Врезка на карте «Растительность Западно-Сибирской равнины». М.: ГУГК. 1976.
14. Иоффе И. Г., Микулин М. А., Скалон О. И. Определитель блох Средней Азии и Казахстана. М.: Медицина. 1965.
15. Крыльцов А. И. Степные пеструшки и стадные полевки на севере Казахстана // Труды НИИ защиты растений. 1964. Т. 8. С. 3–183.
16. Литвинова Л. Н., Заводова Н. В. К фауне гамазовых клещей Зауралья // Учен. зап. Пермского гос. ун-та. 1969. Т. 179. С. 134–145.
17. Логиновский Г. Е. Заболеваемость клещевым энцефалитом и распространение иксодовых клещей в Курганской области // Природноочаговые болезни. Тюмень. 1963. С. 83–86.
18. Малькова М. Г. Зональные фаунистические комплексы и структура сообществ мелких млекопитающих и связанных с ними членистоногих в Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск. 2009.
19. Малькова М. Г., Якименко В. В., Танцев А. К. Изменение границ ареалов пастбищных иксодовых клещей рода *Ixodes* Latr., 1795 (Parasitiformes, Ixodidae) на территории Западной Сибири // Паразитология. 2012. Т. 46. № 5. С. 369–383.
20. Назарова И. В. Блохи Волжско-Камского края. М.: Наука. 1981.
21. Науменко Н. И. Растительность // География Курганской области. Курган, 2019. С. 80–104.
22. Новикова А. В. К фауне гамазовых и иксодовых клещей, как эктопаразитов грызунов и землероек Курганской области // Информацион. материалы Ин-та экологии растений и животных. Ч. II. Свердловск, 1974. С. 8–10.
23. Новикова А. В. Фаунистические компоненты природных очагов туляремии Курганской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск. 1977.
24. Олсуфьев Н. Г., Дунаева Т. Н. Природная очаговость, эпидемиология и профилактика туляремии. М.: Медицина. 1970.
25. Олсуфьев Н. Г., Петров В. Г. Кровососущие членистоногие и *Francisella tularensis* // Биологические взаимоотношения кровососущих членистоногих с возбудителями болезней человека. М.: Медицина, 1967. С. 200–218.
26. Павлинов И. Я., Лисовский А. А. Млекопитающие России: систематико-географический справочник. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2012.
27. Петров В. Г. Иксодовые и гамазовые клещи как переносчики возбудителя туляремийной инфекции // Первое акрологическое совещание: тез. докл. М.-Л.: Наука. 1966. С. 155–156.
28. Попов В. М. Материалы по изучению фауны блох (Aphaniptera) Западной Сибири // Эпидемиология и профилактика инфекций. Томск. 1945. С. 80–84.
29. Попова Е. В. О видовом составе и распространении иксодовых и гамазовых клещей в очагах природноочаговых инфекций Ставропольского края // Первое акрологическое совещание: тез. докл. М.-Л.: Наука. 1966. С. 161–162.
30. Савина М. А. Особенности стационального размещения гамазовых клещей гнезд серой полевки на севере Московской области // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1961. Т. 30. № 1. С. 67–71.
31. Сапегина В.Ф., Леонов Ю.А., Харитонов Н.Н. 1969. Материалы к характеристике очага омской геморрагической лихорадки Северной Кулунды // Перелетные птицы и их роль в распространении арбовирусов. Новосибирск: Наука, С. 301–307.
32. Слудский А.А., Борисенко В.А., Капитонов В.И. Млекопитающие Казахстана. 1978. Т. 1. Ч. 3. Алма-Ата: Наука КазССР.
33. Стариков В. П. Ландшафтно-географическая характеристика иксодовых клещей мелких млекопитающих Южного Зауралья // XI Всесоюз. конф. по природной очаговости болезней. М., 1984. С. 161–162.
34. Стариков В. П., Вершинин Е. А. Паразитические членистоногие обыкновенной слепушонки *Ellobius talpinus* Pallas, 1770 Южного Зауралья (Курганская область) // Паразитология. 2020. Т. 54. № 2. С. 152–162.
35. Стариков В. П., Сапегина В. Ф. Эктопаразиты мелких млекопитающих лесостепного Зауралья // Известия СО АН СССР. Серия биол. 1986. Вып. 3. С. 76–83.
36. Стариков В. П., Попова И. Ф., Салюк О. В. К биологии степной пеструшки Южного Зауралья // Млекопитающие в экосистемах. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 51–52.
37. Терентьев П. В., Ростова Н. С. Практикум по биометрии. Л., 1977.
38. Фёдоров К. П. Закономерности пространственного распределения паразитических червей. Новосибирск: Наука. 1986.
39. Шевченко В. Л. Основные черты экологии степной пеструшки (*Lagurus lagurus* Pall.) в Западном Казахстане // Зоологический журнал. 1962. Т. 41. Вып. 4. С. 616–625.

40. Якименко В. В., Малькова М. Г., Шпынов С. Н. Иксодовые клещи Западной Сибири: фауна, экология, основные методы исследования. Омск. 2013.

41. Vinarski M. V., Korralo-Vinarskaya N. P. An annotated catalogue of the gamasid mites associated with small mammals in Asiatic Russia. The family Laelapidae s. str. (Acari: Mesostigmata: Gamasina) // *Zootaxa*. 2016. V. 4111. № 3. P. 223–245. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4111.3.2>

42. Vinarski M. V., Korralo-Vinarskaya N. P. An annotated catalogue of the gamasid mites associated with small mammals in Asiatic Russia. The family Haemogamasidae (Acari: Mesostigmata: Gamasina) // *Zootaxa*. 2017. V. 4273. № 1. P. 1–18. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4273.1.1>

REFERENCES

1. Alifanov, V. I. (1960). Materialy k izucheniyu fauny blokh Omskoj oblasti [Materials for the studying of flea fauna in the Omsk oblast]. In: *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo protivochumnogo instituta Sibiri i Dal'nego Vostoka. Irkutsk*, 23, 316-322. (In Russian).

2. Afanas'ev, A. V., Bazhanov, V. S.; Korelov, M. N., Sludskiy, A. A., & Strautman, E. I. (1953). Zveri Kazakhstana [Mammals of Kazakhstan]. Alma-Ata. (In Russian).

3. Beklemishev, V. N. (1961). Terminy i ponyatiya, neobkhodimye pri kolichestvennom izuchenii populyatsii ektoparazitov i nidikolov. *Zoologicheskij zhurnal*, 40(2), 149-158. (In Russian).

4. Belyaev, V. G. (1966). K izucheniyu fauny i ekologii gamazovykh kleshchei Magadanskoj oblasti. In *Pervoe akarologicheskoe soveshchanie*, Moscow, Leningrad, 29-30. (In Russian).

5. Blokhi (Siphonaptera). https://www.zin.ru/Animalia/Siphonaptera/index_htm

6. Bregetova, N. G. (1956). Gamazovye kleshchi (Gamasoidea). Kratkii opredelitel'. Moscow, Leningrad. (In Russian).

7. Gibet, L. A., & Nikiforov, L. P. (1959). Materialy po iksodovym kleshcham lesostepi Zapadnoi Sibiri. *Zoologicheskij zhurnal*, 38(12). 1806-1812. (In Russian).

8. Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya Kurganskoj oblasti v 2007 godu" (2008). Kurgan.

9. Davydova, M. S. (1966). Faunisticheskie komplekсы gamazovykh kleshchei v landshaftnykh zonakh Zapadnoi Sibiri. In *Pervoe akarologicheskoe soveshchanie*, Moscow, Leningrad. 77-78. (In Russian).

10. Davydova, M. S., & Nikol'skii, V. V. (1986). Gamazovye kleshchi Zapadnoi Sibiri. Novosibirsk. (In Russian).

11. Dubrovskii, Yu. A. (1979). Rod Lagurus Gloger, 1841 – Pestrushki // *Meditinskaya teriologiya*. Moscow. 145-149. (In Russian).

12. Dunaeva, T. N. (1954). Eksperimental'noe issledovanie tulyaremii u dikikh zhivotnykh (gryzuny, khishchnye, nasekomoyadnye) kak osnova izucheniya prirodnykh ochagov etoi infektsii. *Zoologicheskij zhurnal*, 33(2). 296-318. (In Russian).

13. Il'ina, I. S., Lapshina, E. I., Makhno, V. D., & Romanova, E. A. (1976). Geobotanicheskoe raionirovanie. Vrezka na karte "Rastitel'nost' Zapadno-Sibirskoi ravniny". Moscow. (In Russian).

14. Ioff, I. G., Mikulin, M. A., & Skalon, O. I. (1965). Opredelitel' blokh Srednei Azii i Kazakhstana. Moscow. (In Russian).

15. Kryl'tsov, A. I. (1964). Stepnye pestrushki i stadnye polevki na severe Kazakhstana. *Trudy NII zashchity rastenii*, (8). 3-183. (In Russian).

16. Litvinova, L. N., & Zavodova, N. V. (1969). K faune gamazovykh kleshchei Zaural'ya. *Uchenye zapiski Permskogo universiteta*, (179). 134-145. (In Russian).

17. Loginovskii, G. E. (1963). Zaboлеваemost' kleshchevym entsefalitom i rasprostranenie iksodovykh kleshchei v Kurganskoj oblasti. In *Prirodnoochagovye bolezni*. Tyumen'. 83-86. (In Russian).

18. Mal'kova, M. G. (2009). Zonal'nye faunisticheskie komplekсы i struktura soobshchestv melkikh mlekopitayushchikh i svyazannykh s nimi chlenistonogikh v Zapadnoi Sibiri: Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Novosibirsk. (In Russian).

19. Mal'kova, M. G., Yakimenko, V. V., & Tantsev, A. K. (2012). Izmenenie granits arealov pastbishchnykh iksodovykh kleshchei roda Ixodes Latr., 1795 (Parasitiformes, Ixodidae) na territorii Zapadnoi Sibiri. *Parazitologiya*, 46(5). 369-383. (In Russian).

20. Nazarova, I. V. (1981). Blokhi Volzhsko-Kamskogo kraja. Moscow. (In Russian).

21. Naumenko, N. I. (2019). Rastitel'nost'. In *Geografiya Kurganskoj oblasti*, Kurgan, 80-104. (In Russian).

22. Novikova, A. V. (1974). K faune gamazovykh i iksodovykh kleshchei, kak ektoparazitov gryzunov i zemleroek Kurganskoj oblasti. Sverdlovsk. 8-10. (In Russian).

23. Novikova, A. V. (1977). Faunisticheskie komponenty prirodnykh ochagov tulyaremii Kurganskoj oblasti: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Sverdlovsk. (In Russian).

24. Olsuf'ev, N. G., & Dunaeva, T. N. (1970). Prirodnaya ochagovost', epidemiologiya i profilaktika tulyaremii. Moscow. (In Russian).

25. Olsuf'ev, N. G., & Petrov, V. G. (1967). Krovososushchie chlenistonogie i Francisella tularensis. In *Biologicheskie vzaimootnosheniya krovososushchikh chlenistonogikh s vozbuditelyami boleznei cheloveka*, Moscow. 200-218. (In Russian).
26. Pavlinov, I. Ya., & Lisovskii, A. A. (2012). Mlekopitayushchie Rossii: sistematiko-geograficheskii spravochnik. Moscow. (In Russian).
27. Petrov, V. G. (1966). Iksodovye i gamazovye kleshchi kak perenoschiki vozbuditelya tulyaremiinoi infektsii. In *Pervoe akrologicheskoe soveshchanie*, Moscow. 155-156. (In Russian).
28. Popov, V. M. (1945). Materialy po izucheniyu fauny blokh (Aphaniptera) Zapadnoi Sibiri. In *Epidemiologiya i profilaktika infektsii*, Tomsk. 80-84. (In Russian).
29. Popova, E. V. (1966). O vidovom sostave i rasprostraneni iksodovykh i gamazovykh kleshchei v ochagakh prirodnoochagovykh infektsii Stavropol'skogo kraia. In *Pervoe akarologicheskoe soveshchanie*, Moscow. 161-162. (In Russian).
30. Savina, M. A. (1961). Osobennosti statsial'nogo razmeshcheniya gamazovykh kleshchei gnezd seroi polevki na severe Moskovskoi oblasti. *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*, 30(1). 67-71. (In Russian).
31. Sapagina, V.F., Leonov, Yu.A., & Kharitonova, N. N. (1969). Materialy k kharakteristike ochaga omskoi gemorragicheskoi likhoradki Severnoi Kulundy. In *Pereletnye ptitsy i ikh rol' v rasprostraneni arbovirusov*, Novosibirsk. 301-307. (In Russian).
32. Sludskii, A. A., Borisenko, V. A., & Kapitonov, V. I. (1978). Mlekopitayushchie Kazakhstana. 1, Ch. 3. Alma-Ata. (In Russian).
33. Starikov, V. P. (1984). Landshaftno-geograficheskaya kharakteristika iksodovykh kleshchei melkikh mlekopitayushchikh Yuzhnogo Zaural'ya. In *XI Vsesoyuz. konf. po prirodnoi ochagovosti boleznei*, Moscow. 161-162. (In Russian).
34. Starikov, V. P., & Vershinin, E. A. (2020). Paraziticheskie chlenistonogie obyknovnoi slepushonki *Ellobius talpinus* Pallas, 1770 Yuzhnogo Zaural'ya (Kurganskaya oblast'). *Parazitologiya*, 54(2). 152-162. (In Russian).
35. Starikov, V. P., & Sapagina, V. F. (1986). Ektoparazity melkikh mlekopitayushchikh lesostepnogo Zaural'ya. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya biol.*, (3). 76-83. (In Russian).
36. Starikov, V. P., Popova, I. F., Salyuk, O. V. (1990). K biologii stepnoi pestrushki Yuzhnogo Zaural'ya. In *Mlekopitayushchie v ekosistemakh*, Sverdlovsk, 51-52. (In Russian).
37. Terent'ev, P. V., & Rostova, N. S. (1977). Praktikum po biometrii. Leningrad. (In Russian).
38. Fedorov, K. P. (1986). Zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya paraziticheskikh chervei. Novosibirsk. (In Russian).
39. Shevchenko, V. L. (1962). Osnovnye cherty ekologii stepnoi pestrushki (*Lagurus lagurus* Pall.) v Zapadnom Kazakhstane. *Zoologicheskii zhurnal*, 41(4). 616-625. (In Russian).
40. Yakimenko, V.V., Mal'kova, M.G., & Shpynov, S.N. (2013). Iksodovye kleshchi Zapadnoi Sibiri: fauna, ekologiya, osnovnye metody issledovaniya. Omsk. (In Russian).
41. Vinarski, M. V., & Korallo-Vinarskaya, N. P. (2016). An annotated catalogue of the gamasid mites associated with small mammals in Asiatic Russia. The family Laelapidae s. str. (Acari: Mesostigmata: Gamasi-na). *Zootaxa*, 4111(3), 223-245. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4111.3.2>
42. Vinarski, M. V., & Korallo-Vinarskaya, N. P. (2017). An annotated catalogue of the gamasid mites associated with small mammals in Asiatic Russia. The family Haemogamasidae (Acari: Mesostigmata: Gamasi-na). *Zootaxa*, 4273(1), 1-18. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4273.1.1>

Стариков В. П. Эктопаразиты степной пеструшки *Lagurus lagurus* Pallas, 1773 Южного Зауралья (Курганская область) в связи с природной очаговостью туляремии // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 102–109. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/13>

Starikov, V. P. (2020). Ectoparasites of a steppe lemming *Lagurus lagurus* Pallas, 1773 in the South Trans-Ural region (Kurgan oblast) in connection with the natural foci of tularemia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 102–109. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/13>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Стариков В.П.

I. A. Pogonysheva, I. I. Lunyak, D.A. Pogonyshev

SEASONAL MICROALTERNATIONS OF ECG SIGNAL IN STUDENTS OF A NORTHERN UNIVERSITY

И. А. Погоньшева, И. И. Луняк, Д. А. Погоньшев

СЕЗОННЫЕ МИКРОАЛЬТЕРНАЦИИ ЭКГ-СИГНАЛА У СТУДЕНТОВ СЕВЕРНОГО ВУЗА

Abstract. The research addresses the seasonal dynamics of electrophysiological properties of the myocardium in students who live and study in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug –Yugra, Russia. The main method of the research was the dispersion mapping of low-amplitude cardiocycle oscillations. 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. Eighty 2nd and 3rd year students participated in the research. Microalternations of the ECG signal were recorded four times per year, once in each season. The electrophysiological activity of the myocardium was analyzed and showed seasonal dynamics. The myocardial microalternation index and the Rhythm indicator increased from summer to winter and reached maximum in spring. Increased integral indicators of dispersion mapping in spring may indicate the climatic impact. The transitional season puts greater stress on the functional reserves of the body, which was manifested by the observed alternations in the electrophysiological activity of the myocardium. The maximum heart rates in spring indicate a lower efficiency of the heart muscle and the exhaustion of the chronotropic reserve. The increased values of the Rhythm indicator also point to a greater tension in the regulatory system in the cold seasons. At the end of winter and in spring, the myocardial activity in students of Nizhnevartovsk State University reached the upper limit of the physiological norm and their functional reserves were reduced.

Key words: students; seasonal dynamics; dispersion mapping; ECG signal; ECG microalternations; electrophysiological properties; myocardium.

Аннотация. В условиях Ханты-Мансийского автономного округа–Югры – территории, приравненной к Крайнему Северу, с помощью метода дисперсионного картирования низкоамплитудных колебаний кардицикла исследована сезонная динамика электрофизиологических свойств миокарда студентов. Регистрация показателей электрофизиологических свойств миокарда проводилась на базе лаборатории экологии человека Нижневартовского государственного университета с применением компьютерной системы скрининга сердца «КардиоВизор-06с». В исследовании участвовали студенты 2 и 3 курсов в количестве 80 человек. Регистрация микроальтернаций ЭКГ-сигнала проводилась 4 раза (зима, весна, лето, осень). Анализ сезонной динамики показателей электрофизиологической активности миокарда выявил ряд особенностей. Значения индекса микроальтернаций миокарда и индикатора «Ритм», увеличиваясь в динамике от лета к зиме, максимальных значений достигали весной. Увеличение интегральных показателей дисперсионного картирования у студентов в весенний период может свидетельствовать о влиянии климатических условий переходного сезона года, требующих большего напряжения функциональных резервов организма, что проявляется изменением электрофизиологической активности миокарда. Максимальные значения частоты сердечных сокращений в весенний период свидетельствуют о меньшей эффективности работы сердечной мышцы, расходовании хронотропного резерва. О нарастании напряженности в системе регуляции в холодные сезоны года свидетельствует и увеличение значений индикатора «Ритм». В зимний период и весной показатели деятельности миокарда студентов северного вуза находились на верхней границе физиологической нормы, функциональные резервы были снижены.

Ключевые слова: студенты; сезонная динамика; дисперсионное картирование; микроальтернации ЭКГ-сигнала; электрофизиологические свойства миокарда.

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.

Сведения об авторах: Погоньшева Ирина Александровна, ORCID: 0000-0002-5759-0270, канд. биол. наук, доцент, Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, severina.i@bk.ru; Луняк

Инна Игоревна, ORCID: 0000-0003-3479-9829, аспирант кафедры экологии, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, luniak_inna@mail.ru; Погонишев Денис Александрович, ORCID: 0000-0001-8815-1556, канд. биол. наук, доцент, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, d.pogonyshev@mail.ru.

Introduction

Human body has indicator systems that can point to the effectiveness of adaptation mechanisms in marginally comfortable and extreme environmental conditions. The seasonal variation of such indicators in human body should be studied for it is of the most important problems of human ecological physiology. The Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra belongs to the regions of the Far North and equated localities due to its uncomfortable continental climate. The severe climatic and geophysical conditions put pressure on the adaptation mechanisms of the northern dwellers. The intensity of environmentally induced stress can be determined by indicators in the functional systems. The cardiovascular system (CVS) plays a leading role in the processes of adaptation of the body to marginally comfortable and extreme environmental conditions. The CVS is the essential energy transport in human body, and it is recognized as the most sensitive indicator of adaptive activity of the body under changing environmental conditions.

Previous studies focused on the CVS adaptive changes in dwellers of the Middle Ob region [11; 13; 20] and in population the European North of Russia [4–6; 10; 16; 19]. The features of adaptation and reserve capabilities of the circulatory system were investigated in dwellers of the northern territories. Studies of seasonal changes in the parameters of the circulatory system in young people living in the northern territories are few, and the available articles note that in the winter season, the CVS in natives of the European North of Russia is in the state of functional tension [4; 7–9; 12; 19].

A number of studies revealed the seasonal effect of photoperiodism on the CVS. It was expressed in changed heart rate, blood pressure, total peripheral vascular resistance, systolic discharge, and cardiac output throughout the annual cycle [8; 9]. Young people, living in the northern conditions, developed tension of adaptive mechanisms in the systemic hemodynamics in the winter season. Also, seasonal variation in the blood supply of the brain was observed. In the beginning of winter, the cerebral blood supply system showed negative trends in the form of decreased tonicity and impaired elastic properties of the blood vessels [18]. Throughout the annual cycle, the highest bioelectric activity of the myocardium in 18 to 22 year old natives of the European North of Russia was observed during the transitional seasons [5]. Alternations in the bioelectric activity of the myocardium may mark not only of age-related changes in the cardiovascular system, but also the impact of climate on the human body [2] and the efficiency of the adaptation process [10]. In [14; 15], the authors analyzed the dispersion mapping of electrocardiograms in various aged population of the European North of Russia. However, publications related to the electrical microalternations of the ECG signal in dwellers of the Middle Ob region in different seasons are unavailable, hence our findings have a certain novelty. The purpose of the study was to identify seasonal changes in the electrophysiological properties of the myocardium in students of Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia.

Materials and Methods

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. Eighty 2nd and 3rd year students participated in the research; forty-five of them were female and thirty-five were male. The average age was 19.8 ± 1.6 years. 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 [17]. 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 examination.

Microalternations of the ECG signal were recorded four times per year, once in each season (winter, spring, summer, autumn). The hardware and software that was used for the ECG dispersion mapping were developed by Medical Computer Systems LLP, Zelenograd, Russia (<https://mks.ru/netcat>). The ECG dispersion mapping based on the analysis of microalternations of the entire cardiocycle is a proven method for the early diagnosis of myocardial disorders, since it allows detecting disorders even at the stage of metabolic changes in cardiomyocytes. The following 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 Microsoft Excel application package. The arithmetic mean (M) and mean error (m) were calculated. Seasonal variation in the electrophysiological properties of the myocardium was determined by the Student t-test, subject to a normal distribution of the initial values. The differences between mean values were considered statistically significant at $p < 0,05$.

Results and Discussion

The seasonal dynamics of electrophysiological activity of the myocardium was analyzed, and it revealed a number of noteworthy features. The MMI and Rhythm indicators, increasing from summer to winter, reached maximum values in spring (Fig., Table).

The collected data revealed seasonal dynamics of the Heart Rate values in both male and female participants. The Heart Rate values were significantly higher ($p < 0,05$) in spring compared with the values recorded in summer and autumn. In spring, the average Heart Rate in both male and female participants was at the upper limit of the physiological norm: $81,9 \pm 2,6\%$ in females and $82,5 \pm 2,8\%$ in males (Table). On the other hand, Ketkina [7] observed maximum heart rate in young men of the European North of Russia in autumn ($p < 0.05$).

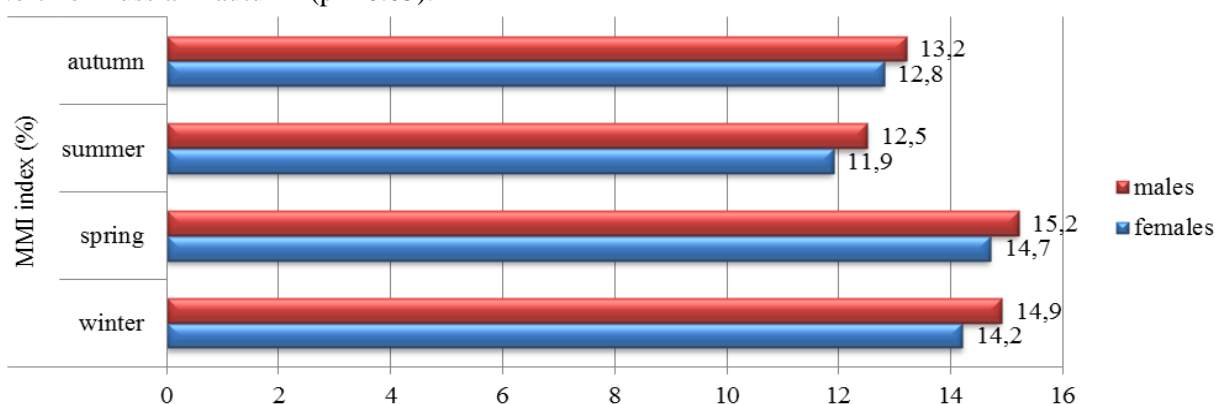


Fig. Seasonal changes in the Myocardium index (M±m)

The electrophysiological changes in the myocardium vary in the range from 0% to 100%. A Myocardium index of 0% means normal functioning of the heart and sufficient functional reserves of the body. If the Myocardium index approaches 100%, it indicates pathological processes. The MMI value from 1 to 15% is considered normal; the value from 15% to 25% indicates stress in the heart and the need for additional diagnostics; the value of more than 25% points to significant dysfunctions. The analysis of dispersion mapping indicators revealed that the maximum values of the Myocardium index occurred in spring. The average MMI was higher in young men than in their peers of the opposite sex: it was $15,2 \pm 0,5\%$ in males and $14,7 \pm 0,6\%$ in females. The trend of increasing MMI in young men manifested itself in other seasons, too. No significant gender variation was detected. In winter, the Myocardium index was $14,2 \pm 0,5\%$ in young women and $14,9 \pm 0,3\%$ in young men. In autumn, it was $12,8 \pm 0,5\%$ in male participants and $13,2 \pm 0,5\%$ in female participants. The minimum MMI values were observed in summer: $11,9 \pm 0,4\%$ in young women and $12,5 \pm 0,7\%$ in men. No significant interseasonal variation was detected (Fig.).

Table

Seasonal changes in the dispersion mapping indicators (M±m)

Season	winter		spring		summer		autumn	
	Hear rate (bpm)	Rhythm (%)	Hear rate (bpm)	Rhythm (%)	Hear rate (bpm)	Rhythm (%)	Hear rate (bpm)	Rhythm (%)
females	79,5±2,4	28,7±1,8	81,9±2,6*	29,8±1,5*	72,6±2,4	24,5±1,3	73,8±2,6	24,8±1,8
males	80,3±2,6	27,0±1,5	82,5±2,8*	27,7±1,6*	73,9±2,8	21,8±1,7	75,6±2,7	22,9±1,2

Note: *significant interseasonal variation in the integral indicators in spring in comparison with the values recorded in summer and autumn ($p < 0,05$).

According to previously published data [1; 3], at the end of winter and in spring, the myocardial activity indicators in relatively healthy people reach the upper limit of the physiological norm, the functional reserves get depleted, and in summer, the reserves come back to being sufficient.

The cardiac rhythm variation was assessed, too, for it gives an idea of the intensity of the stress load on the cardiovascular system. If the condition of the examined person is normal, and the sympathetic and parasympathetic influences on the cardiac rhythm are balanced, then the Rhythm index varies from 0 to 20%. In case of vegetative dysfunction, this index is above 20%. The maximum Rhythm values were observed in spring, and they were $29,8 \pm 1,5\%$ in young women and $27,7 \pm 1,6\%$ in young men. Significant interseasonal variation was noted in spring as compared with the values recorded in summer and autumn in both groups of participants ($p < 0,05$). In summer and autumn, the average values of the Rhythm indicator in the examined females were within the physiological norm and amounted to $24,5 \pm 1,3\%$ and $24,8 \pm 1,8\%$, respectively. The young men had lower Rhythm indicator values: $21,8 \pm 1,7\%$ in summer and $22,9 \pm 1,2\%$ in autumn. No significant gender variation was found (Table). The signs of strain of the adaptation mechanisms were observed in both groups throughout the year. The average values of the Rhythm index were higher than 20%. In winter and spring, these phenomena were more pronounced (Table).

To summarize, seasonal variations of ECG microalterations were discovered in the examined students by dispersion mapping. In the dynamics of annual observations, the integral indicators in all examined persons reached maximum in spring and minimum in summer. Significant variation ($p < 0,05$) was revealed in the Heart Rate and Rhythm indicators (Table).

Conclusion

The findings of this study complement the current understanding of adaptive seasonal changes in young people who live in the north of Western Siberia. The analysis of the electrophysiological properties of the myocardium in both males and females indicates dynamics throughout the year. In cold season, the cardiovascular system of northern university students is in a state of functional tension, and the integral indicators of dispersion mapping increase in both males and females. Increased microalteration of the ECG signal (Myocardium, Heart Rate, Rhythm) in students in spring may indicate the climatic impact. The transitional season puts more stress on the functional reserves of the body, and it is manifested by changes in the electrophysiological activity of the myocardium. An increased heart rate indicates a lesser efficiency of the heart muscle and the exhaustion of chronotropic reserve of the heart. The growing strain on the adaptive system in cold season can be seen in the increased Rhythm index. At the end of winter and in spring, the myocardial activity indicators in relatively healthy people are at the upper limit of the physiological norm, the functional reserves get depleted, but in summer, the reserves of the body are sufficient again. The change in ECG microalterations points to the fundamental mechanism for changing the functional activity of the myocardium in response to the insufficient oxygen consumption.

REFERENCES

1. Bpeyc, T. K., Chibisov, C. M., Baevskii, R. M., & Shebzukhov, K. B. (2002). Khronostruktura bioritmov serdtsa i faktory vneshnei sredy. Moscow. (In Russian).
2. Varlamova, N. G. (2001). Funktsional'noe sostoyanie serdechno-sosudistoi sistemy cheloveka na Severe: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Syktyvkar. (In Russian).
3. Gazi, Mukhammed, Khalabi (2016). Elektrofiziologicheskie i khronobiologicheskie metody v rannei diagnostike porazheniya miokarda (po dannym obsledovaniya v Livane i RF): Dis. ... d-ra med. nauk. Moscow. (In Russian).
4. Gudkov, A. B., Popova, O. N., & Efimova, N. V. (2013). Seasonal changes in indices of cardiovascular system's hemodynamics and reserve capacity in natives of the European North aged 18-22 years. *Journal of Medical and Biological Research*, (3). 35-44. (In Russian).
5. Gudkov, A. B., Popova, O. N., & Efimova, N. V. (2012). Seasonal changes in myocardial bioelectric activity in 18 to 22 year old natives of European North. *Human Ecology*, (9). 32-37. (In Russian).
6. Dernovoy, B. F., & Irzhak, L. I. (2017). Seasonal response of the heart to hemodynamic changes in men living in the European North of Russia. *Journal of Medical and Biological Research*, (5). 18-23. (In Russian).
7. Ketkina, O. A. (2015). Seasonal dynamics of characteristics of the functional state of the body in teenagers and young males living in the European North. Abstract of Cand. Sc. Dissertation. Syktyvkar. (In Russian).
8. Kuposova, T. S., Chikova, S. N., & Chikov, A. E. (2009). Dynamics of the heart rhythm parameters and adaptive organism opportunities in students during different seasons. *Arctic Environmental Research*, (1). 11-19. (In Russian).

9. Kopusova, T. S., Chikova, S. N., & Chikov, A. E. (2004). Seasonal changes in cardiohemodynamic indicators and vegetative status in students' organisms. *Human Ecology*, (5). 23-25. (In Russian).
10. Kubushka, O. N., Gudkov, A. B., & Labutin, N. Yu. (2004). Some reactions of the cardiorespiratory system in young people of working age at the adaptive stress stage after moving to the North. *Human Ecology*, (5). 16-18. (In Russian).
11. Pogonysheva, I. A., Pogonyshv, D. A., & Lunyak, I. I. (2018). Seasonal changes in the circulatory system organs of student in a Northern university. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3). 117-122. (In Russian).
12. Roschevskij, M. P., Evdokimov, V. G., Ovsov, A. S., & Varlamova, N. G. (1993). Seasonal changes in the cardiorespiratory system parameters in inhabitants of the North. *Human Physiology*, (19). 44-50. (In Russian).
13. Semenova, A. A., & Litovchenko, O. G. (2017). Characteristics of the functional state of the Middle Ob region students involved into different physical tasks. *New Research*, (3). 11-20. (In Russian).
14. Solonin, Yu. G., Markov, A. L., & Boiko, Ye. R. (2011). Funktsionalnyye pokazateli zdorov'ya u muzhchin severyan. *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences*, (3(7)). 43-47. (In Russian).
15. Solonin, Yu. G., Markov, A. L., Boiko, Ye. R., & Lysenkov, I. I., Yefimov A. V. (2013). Specific features of electrocardiogram dispersion mapping readings in apparently healthy dwellers of the North. *Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health*, (16(5)). 48-52. (In Russian).
16. Hasnulin, V. I., & Hasnulin, P. V. (2012). Modern outlooks to Northern stress formation mechanisms in humans at high latitudes. *Human Ecology*, (1). 3-11. (In Russian).
17. WMA Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. Adopted by the 18th WMA General Assembly, Helsinki, Finland, June 1964 and amended by the 64th WMA General Assembly, Fortaleza, Brazil, October 2013. URL: <https://clck.ru/NGx5F>
18. Chesnokova, V. N., & Gribanov, A.V. (2012). Changes in hemodynamics of the adolescents in the conditions of life in the northern region during the academic year. *Modern problems of science and education*, (1). 5. (In Russian).
19. Chesnokova, V. N., & Mosyagin, I. G. (2009). Seasonal dynamics of cardiorespiratory system parameters in young men living in the European North of Russia. *Human Ecology*, (8). 7-11. (In Russian).
20. Shalamova, Ye. U., Ragozin, O. N., & Bochkarev, M. V. (2019). Disadaptive reactions of the cardiovascular system in relation to sleep and coping behavior in students of northern medical institute. *Arterial Hypertension*, (25(2)). 176-190. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190>

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреус Т. К., Чибисов С. М., Баевский Р. М., Шебзухов К. В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М. 2002.
2. Варламова Н. Г. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы человека на Севере: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2001.
3. Гази Мухаммед Халаби Электрофизиологические и хронобиологические методы в ранней диагностике поражения миокарда (по данным обследования в Ливане и РФ): Дис. ... д-ра мед. наук. М. 2016.
4. Гудков А. Б., Попова О. Н., Ефимова Н. В. Сезонные изменения показателей гемодинамики и резервных возможностей сердечно-сосудистой системы у уроженцев Европейского Севера 18-22 лет // Журнал медико-биологических исследований. 2013. № 3. С. 35-43.
5. Гудков А. Б., Попова, О. Н., Ефимова, Н. В. Сезонные изменения биоэлектрической активности миокарда у уроженцев Европейского Севера 18-22 лет // Экология человека. 2012. № 9. С. 32-37.
6. Дерновой Б. Ф., Иржак Л. И. Сезонные реакции сердца на изменение гемодинамики у мужчин - жителей Европейского Севера России // Журнал медико-биологических исследований. 2017. № 3. С. 18-23. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.3.18>
7. Кеткина О. А. Сезонная динамика показателей функционального состояния организма подростков и юношей Европейского севера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2015.
8. Копосова Т. С., Чикова С. Н., Чиков А. Е. Динамика показателей сердечного ритма и адаптивные возможности организма студентов в разные сезоны года // Arctic Environmental Research. 2009. № 1. С. 11-19.
9. Копосова Т. С., Чикова С. Н., Чиков А. Е. Сезонные изменения показателей кардиогемодинамики и вегетативного статуса организма студентов // Экология человека. 2004. № 5. С. 23-25.
10. Кубушка О. Н., Гудков А. Б., Лабутин Н. Ю. Некоторые реакции кардиореспираторной системы у молодых лиц трудоспособного возраста на стадии адаптивного напряжения при переезде на Север // Экология человека. 2004. № 5. С. 16-18.
11. Погоньшева И. А., Погоньшев Д. А. Сезонные изменения параметров системы органов кровообращения у студентов северного вуза // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2018. № 3. С. 117-122.

12. Роцевский М. П., Евдокимов В. Г., Овсов А. С., Варламова Н. Г. Сезонные изменения параметров кардиореспираторной системы жителей Севера // Физиология человека. 1993. Т. 19. № 6. С. 44–50.
13. Семенова А. А., Литовченко О. Г. Особенности функционального состояния организма студентов Среднего Приобья с различной направленностью физических нагрузок // Новые исследования. 2017. Т. 3. № 52. С. 11–20.
14. 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.
15. 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.
16. Хаснулин В. И., Хаснулин П. В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах // Экология человека. 2012. № 1. С. 3–11.
17. Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации. «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта. 1964 г» (с изм. и доп. октябрь 2013 г). URL: <https://clck.ru/NGx5F>
18. Чеснокова В. Н., Грибанов А. В. Изменение гемодинамики у студентов в условиях северного региона в течение учебного года // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. С. 5.
19. Чеснокова В. Н., Мосягин И. Г. Сезонная динамика параметров кардиореспираторной системы у юношей, проживающих на Европейском Севере России // Экология человека. 2009. № 8. С. 7–11.
20. Шаламова Е. Ю., Рагозин О. Н., Бочкарев М. В. Деадаптивные реакции сердечно-сосудистой системы во взаимосвязи с функцией сна и копинг-поведением у студентов северного медицинского вуза // Артериальная гипертензия. 2019. № 25(2). С. 176–190. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190>

Pogonysheva I. A., Luniak I. I., Pogonyshv D.A. Seasonal microalternations of Ecg signal in students of a Northern University // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 110–115. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/14>

Pogonysheva, I. A., Luniak, I. I., & Pogonyshv D.A. (2020). Seasonal microalternations of Ecg signal in students of a Northern University. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 110–115. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/14>

дата поступления: 15 февраля 2020 г.

дата принятия: 15 апреля 2020 г.

© Погоньшева И.А., Лунык И.И., Погоньшев Д.А.

М. В. Осин, В. П. Мальцев

**ОЦЕНКА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ОБУЧАЮЩИХСЯ,
ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

M. V. Osin, V. P. Maltsev

**EVALUATION OF MORPHO-PHYSIOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF STUDENTS LIVING IN
NORTHERN CONDITIONS**

Аннотация. В статье представлены результаты исследования показателей физического развития подростков 11–12 лет (1 группа) и 13–14 лет (2 группа), проживающих в условиях Севера (г. Сургут). Сбор и обработка данных осуществлялись в весенний период (февраль–март) 2020 г. По показателям антропометрии и гемодинамики проводили оценку уровня физического развития, функционального состояния сердечно-сосудистой системы, уровня функциональных резервов организма. Выявлено преобладание гармоничного физического развития у большинства подростков. У мальчиков с возрастом отмечен рост числа обследованных с высоким физическим развитием, у девочек – увеличение числа обследованных с признаками астенизации. Функциональные показатели гемодинамики отражают совершенствование функции деятельности сердечно-сосудистой системы обследованных подростков в возрастном аспекте. Интегративные показатели гемодинамики ЧСС и артериального давления превышают возрастнополовые нормативы, что отражает напряжение в деятельности системы жизнеобеспечения. Адаптационные резервы организма обучающихся обеих групп в весенний период (февраль–март) находятся на сниженном уровне, 47–66% подростков 1 группы и 57–68% второй характеризуются неудовлетворительными показателями адаптации.

Ключевые слова: обучающиеся; подростки; физическое развитие; функциональное состояние; резервы организма; Север.

Сведения об авторах: Осин Максим Владиславович, ORCID: 0000-0002-3708-8275; SPIN-код: 6954-1849, Сургутский государственный педагогический университет, г. Сургут, Россия, osin90@list.ru; Мальцев Виктор Петрович, ORCID: 0000-0002-2453-6585; SPIN-код: 5691-3454, канд. биол. наук, Сургутский государственный педагогический университет, г. Сургут, Россия, mal585@mail.ru.

About the authors: Osin Maxim Vladislavovich, ORCID: 0000-0002-3708-8275; SPIN-code: 6954-1849, Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia, osin90@list.ru; Maltsev Victor Petrovich, ORCID: 0000-0002-2453-6585, SPIN-code: 5691-3454, Ph.D., Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia, mal585@mail.ru.

Введение

Проблема сохранения здоровья детей школьного возраста в настоящее время весьма актуальна. Отчетливо наблюдается ухудшение физического развития и состояния здоровья детей и подростков. В современном изменяющемся мире различные технологии и климато-экологическая обстановка в регионах способны создавать стрессовые ситуации для растущего организма обучающихся. Эти воздействия способны влиять на здоровье школьников, а также могут стать причиной донозологических состояний. Регулярный мониторинг подрастающего поколения является актуальным и необходимым, т. к. физическое развитие (ФР) определяется как один из ведущих критериев оценки состояния здоровья детей, в том числе проживающих на Севере. Стоит отме-

тить, что организм жителей Севера и без того характеризуется напряжением физиологических и биохимических процессов [13; 15].

Некоторые авторы рассматривают соматическую изменчивость как критерий адаптации организма к окружающей среде, являющейся условием устойчивости популяции [3; 12; 23]. Комплексная оценка физического развития школьников в динамике позволяет выделить основные профили патологии с наибольшим риском развития отклонений от нормы. Знание особенностей формирования отклонений в состоянии здоровья растущего организма позволит повысить эффективность профилактических мероприятий [14]. Ряд авторов указывают на необходимость проведение комплексной оценки ФР обучающихся на базе лонгитюдных исследований для получения достоверных данных [7; 14; 17; 19].

Цель настоящего исследования заключается в оценки уровня физического развития и адаптационных возможностей организма обучающихся, проживающих в условиях Севера.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено в весенний период (февраль–март) 2020 г. среди обучающихся общеобразовательной школы г. Сургута – территории, приравненной к районам Крайнего Севера. Всего обследовано 88 человек (46 мальчиков и 42 девочки) в возрасте 11–12 лет (1 группа, $n = 33$) и 13–14 лет (2 группа, $n = 55$). Обследование проводилось согласно правилам биоэтики: на основании информированного согласия законных представителей; в первой половине дня, по стандартным методикам.

Для определения уровня физического развития обучающихся проведено антропометрическое обследование (длина и масса тела), на основании которого были рассчитаны индексы Кетле (ИМТ) и Рорера (ИР). Оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) проводили на основе абсолютных и расчетных показателей гемодинамики (ЧСС; артериальное давление: систолическое (АДС), диастолическое (АДД); пульсовое давление (ПД); артериальное давление среднее (АДср.); среднее систолическое давление (ССД); систолический объем крови (СОК); минутный объем крови (МОК)).

Для характеристики уровня функциональных резервов организма обучающихся проведен расчет интегративных показателей (учитывающих наряду с морфологическими признаками состояние сердечно-сосудистой системы): проба Руфье–Диксона, адаптационный потенциал (АП).

Математико-статистическая обработка данных осуществлялась в программах Microsoft Excel, Statistica 8.0. Рассчитывались основные статистические параметры (среднее арифметическое значение (M), математические ошибки средних (m), коэффициент вариации (CV)). Для выявления достоверности межгрупповых и межполовых различий использовали F-критерий Фишера однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA); сопоставление эмпирических частотных значений. Достоверность различий частотного распределения между разными полами одной группы определяли с помощью критерия однородности распределения признака Пирсона (χ^2). Достоверными считали различия при $p < 0,05$.

Результаты оценки антропометрических показателей обучающихся, проживающих в г. Сургуте, обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Морфофункциональные параметры обучающихся г. Сургута, $M \pm m$

Признаки	1 группа (11-12 лет)		2 группа (13-14 лет)		Прирост показателей (%)	
	Мальчики ($n = 18$)	Девочки ($n = 15$)	Мальчики ($n = 28$)	Девочки ($n = 27$)	Мальчики 1 гр.	Девочки 2 гр.
Длина тела, см	149,1±2,3 (CV = 6%)	145,7±2,6 (CV = 7%)	165,2±1,8 (CV = 6%)	163,3±1,2 (CV = 4%)	10,8 ($p < 0,001$)	12,1 ($p < 0,001$)
Масса тела, кг	40,56±2,38 (CV = 25%)	37,14±1,98 (CV = 20%)	56,5±2,2 (CV = 20%)	50,68±1,95 (CV = 20%)*	39,3 ($p < 0,001$)	36,4 ($p < 0,001$)
Индекс Кетле, кг/м ²	18,2±0,5 (CV = 12%)	17,3±0,53 (CV = 12%)	20,6±0,64 (CV = 16%)	18,8±0,52 (CV = 14%)	11,6 ($p = 0,005$)	7,9
Индекс Рорера, кг/м ³	12,5±0,28 (CV = 10)	11,94±0,4 (CV = 13)	12,5±0,39 (CV = 17)	11,5±0,29 (CV = 13)	–	3,8

Примечание: * – достоверны межполовые различия в группах ($p < 0,05$).

Анализ данных таблицы свидетельствует, что показатели длины и массы тела обследуемых мальчиков и девочек обеих возрастных групп соответствуют общероссийским средним показателям антропометрии [10]. Можно отметить, что у мальчиков обеих возрастных групп отмечено относительное преобладание основных антропометрических показателей. Так, в частности, показатели длины тела мальчиков 1 группы в среднем превышали показатели девочек на 3,4 см, массы тела – на 3,4 кг; мальчиков 2 группы – на 1,9 см и 5,8 кг соответственно. При этом средние показатели массы тела подростков 2 группы имеют достоверные различия (при $p < 0,05$). Динамика прироста основных антропометрических показателей по длине в среднем не превышает 12% ($p < 0,001$). Длина тела девочек незначительно (на 1,3%) превышает аналогичный показатель мальчиков, что, возможно, объясняется более интенсивными ростовыми процессами девочек в ходе первого возрастного перекреста ростовых кривых. Показатель прироста массы тела в среднем в 3–4 раза больше аналогичного прироста длины тела и составляет 36% у девочек и 39% у мальчиков (при $p < 0,001$).

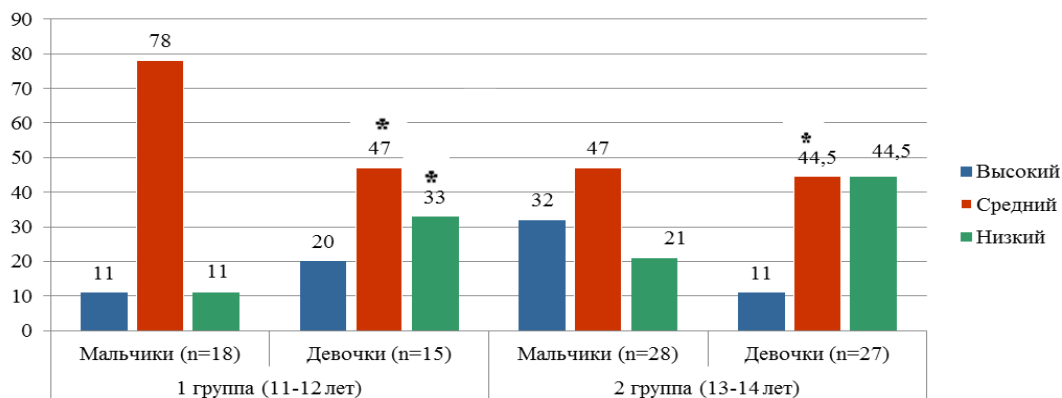
Анализируя вариативность распределения антропометрических признаков обследованных (по показателю CV), можно отметить, что показатели вариативности массы тела подростков в среднем в 3–5 раз больше изменчивости показателей длины тела. Вариативность этих показателей в возрастном аспекте имеет схожую выраженность, что в целом согласуется с общей закономерностью общепопуляционной возрастной изменчивости росто-весовых показателей детского организма [10]. Полученные нами данные антропометрического обследования согласуются с аналогичными исследованиями, которые свидетельствуют о том, что доля детей с гармоничным физическим развитием с возрастом (к 14–15 годам) увеличивается [1; 2; 9; 11; 12; 13; 23].

Для оценки соответствия массы тела обучающихся их длине использовали индекс Кетле. Большинство обследуемых – соответствуют средним возрастно-половым российским нормам [10]. Также установлено относительное преобладание средних значений ИМТ мальчиков над аналогичными показателями девочек (на 5% в 1 группе и 10% во 2 группе). Возрастной прирост показателя у мальчиков примерно на 4% больше девочек и имеет достоверное выражение. Полученные результаты согласуются с абсолютными средними значениями антропометрических показателей обследованных. Вариативность распределения признака (по CV) составляет 12–16%, что соответствует среднему рассеиванию индивидуальных показателей в обеих возрастных группах. Зарубежные исследования показали аналогичные средние значения роста по сравнению с Центрами по контролю и профилактике заболеваний (CDC) и процентильными кривыми Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), но более высокие значения для веса и ИМТ [19].

Средние значения индекса Рорера соответствуют средним значениям показателя во всех возрастно-половых группах, что указывает на гармоничное физическое развитие у большинства обследованных подростков. Среди особенностей возрастного изменения средних значений признака можно отметить относительное возрастное вариативности индекса Рорера в группе мальчиков при сохранности среднего показателя, в то время как в группе девочек отмечается обратная картина: при сохранности рассеивания индивидуальных показателей наблюдается снижение среднего показателя гармоничности физического развития на 3,5%.

Далее был проведен анализ частотного распределения показателя гармоничности физического развития обследованных подростков обеих возрастных групп, результаты которого представлены на рисунке 1.

Анализ уровня физического развития обучающихся подростков показал, что мальчики обеих групп имеют достоверно более гармоничное физическое развитие, чем девочки этой же возрастной группы ($\chi^2 = 21,3$ и $\chi^2 = 18,4$ соответственно, при $p < 0,001$). Высокие показатели физического развития в обеих группах были выявлены у мальчиков – 11% (1 группа) и 32% (2 группа), у девочек – 20% и 11%. Самый большой показатель низкого уровня физического развития был выявлен у девочек 2 группы (44,5%), что, возможно, объясняется более ранним вхождением в пубертат и нахождением в активной фазе полового созревания. Обобщая полученные результаты, можно заключить, что у мальчиков с возрастом отмечается рост числа обследованных с признаками высокого уровня физического развития за счет снижения средних показателей, а в группе девочек отмечено увеличение числа обследованных с признаками астенизации.



Примечание: * – достоверные межполовые различия в пределах группы ($p < 0,05$).

Рис. 1. Оценки уровня гармоничности физического развития обучающихся, проживающих в г. Сургуте, по индексу Рорпера

Для оценки эффективности работы сердечно-сосудистой системы – основывались на интегральных показателях, которые отражают состояние системы в целом. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние показатели гемодинамики обучающихся 11–14 лет г. Сургута, $M \pm m$

Показатели	1 группа (11-12 лет)		2 группа (13–14 лет)		Прирост показателей в %	
	Мальчики (n = 18)	Девочки (n = 15)	Мальчики (n = 28)	Девочки (n = 27)	Мальчики	Девочки
ЧСС, уд./мин	90,3±2,93 (CV = 13%)*	94,8±5,17 (CV = 21%)	86,8±1,33 (CV = 8%)	85,16±1,46 (CV = 9%)	-3,8	-10,1 ($p = 0,01$)
АДС, мм рт. ст.	113,2±2,54 (CV = 9%)	110,3±2,22 (CV = 8%)	115,2±2,54 (CV = 11%)	113,1±2,08 (CV = 9%)	1,7	2,5
АДД, мм рт. ст.	74,7±2,53 (CV = 14%)	73,6±2,19 (CV = 11%)	70,6±1,91 (CV = 14%)	73,1±1,53 (CV = 11%)	-5,4	-0,7
ПД, мм рт. ст.	38,5±3,0 (CV = 33%)	36,7±1,98 (CV = 21%)	44,5±2,12 (CV = 25%)	39,9±1,57 (CV = 20%)	15,6 ($p = 0,05$)	8,9 ($p = 0,02$)
СОК, мл	50,5±2,66 (CV = 22%)	51,3±2,65 (CV = 20%)	64,7±1,84 (CV = 15%)	62,1±1,71 (CV = 14%)	28 ($p < 0,001$)	21 ($p = 0,001$)
МОК, л	4,5±0,3 (CV = 27%)	4,6±0,2 (CV = 19%)	5,6±0,2 (CV = 15%)	5,1±0,1 (CV = 12%)*	23,3 ($p < 0,001$)	9,2 ($p = 0,001$)

Примечание: * – достоверны межполовые различия в группах ($p < 0,05$).

Анализ данных таблицы свидетельствует, что показатели средних значений ЧСС выше возрастных норм (для 11–12 лет – 75–85 уд./мин, для 12–13 лет – 70–80 уд./мин), в 1 группе оно составило 6,5% у мальчиков и 15,6% – у девочек, во 2 группе: 13,6% и 11,9% соответственно. Отмечено, что с возрастом ЧСС у обучающихся достоверно снижается ($p < 0,01$). При этом в динамике прироста у девочек снижение этого показателя происходит в 2 раза быстрее ($p = 0,01$).

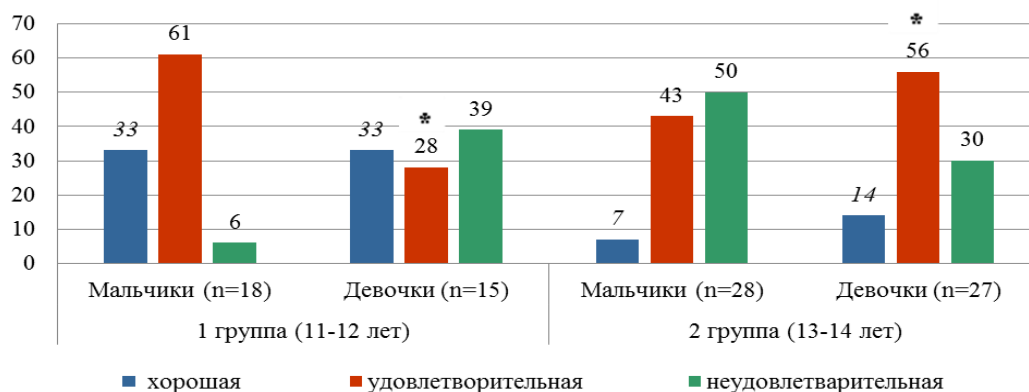
При межполовом сравнении показатели ЧСС у девочек 1 группы в среднем на 4,5 уд./мин больше, чем у мальчиков. Вторая группа по данному показателю имеет схожую выраженность средних значений. Проведенные аналогичные исследования в осенний период в г. Сургуте [16] свидетельствуют о менее напряженных функциональных показателях и отражают схожие показатели ЧСС подростков у мальчиков (86,28±1,3) и девочек (84,92±1,4). Превышение возрастных нормативов по показателю гемодинамики (ЧСС) подтверждается другими исследованиями, проведенными на Севере [4; 6; 14; 16].

Одним из интегральных показателей деятельности сердечно-сосудистой системы, отражающих инотропные свойства сердца, является величина артериального давления. Показатели АДС и АДД в обеих группах в среднем на 5–10 мм рт. ст. превышают возрастнo-половые референтные значения [4; 6; 8], что отражает напряженный уровень работы кровеносной системы подростков. Стоит отметить, что рассеивание данных в АДС (8–11%) менее вариативно по отношению к значениям АДД (11–14%). Полученные результаты АД_{ср.} мальчиков 1 группы в среднем выше (на

7,4 мм рт. ст.) аналогичного показателя девочек, при этом во 2 группе наблюдается меньшая разница значений (2,4 мм рт. ст.). Средние значения ударного объема сердца мальчиков и девочек в пределах возрастных групп имеют схожую выраженность. При этом при межгрупповом сравнении прирост показателя имеет достоверное увеличение ($p < 0,001$) в среднем на 25%, что объясняется активной фазой формирования системы кровообращения: увеличением массы и объема сердца.

Минутный объем крови обучающихся обеих групп относится к нормативным показателям. При сравнении средних межполовых значений МОК достоверные различия выявлены лишь во второй возрастной группе (превышение показателя мальчиков в среднем на 0,5 л, $p < 0,05$). Прирост данного показателя в группах мальчиков составил 23,3% ($p < 0,001$), а у девочек 9,2%. Можно отметить, что если в первой возрастной группе показатель МОК определялся преимущественно значениями ЧСС, то во второй уже отмечается превалирование значений систолического объема крови, что отражает возрастное совершенствование системы жизнеобеспечения.

Толерантность к физическим нагрузкам оценена с помощью пробы Руфье–Диксона. Полученные результаты представлены на рисунке 2.



Примечание: * – достоверные межполовые различия в пределах группы ($p < 0,05$).

Рис. 2. Распределение обучающихся г. Сургута по уровню физической работоспособности, %

Отмечено, что большее количество мальчиков в 1 группе обследуемых имеют хороший и удовлетворительный уровень физической работоспособности по сравнению с девочками этой же группы. Неудовлетворительный уровень был определен лишь у 6% мальчиков и 39% девочек. Межгрупповые различия достоверны ($\chi^2 = 36,4$ при $p < 0,001$).

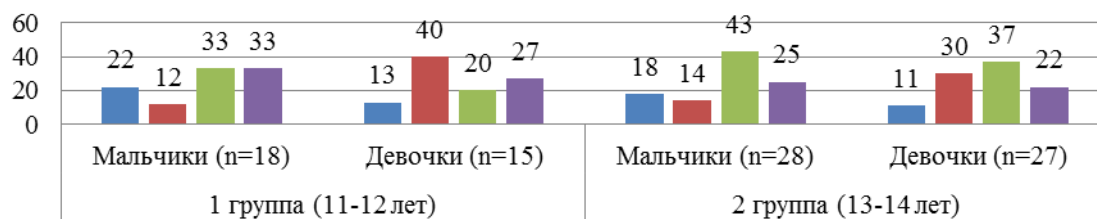
2 группа характеризуется неудовлетворительным уровнем физической работоспособности у 50% мальчиков и 30% девочек, удовлетворительные показатели обследованных находятся в пределах 43–56% ($\chi^2 = 9,0$ при $p = 0,01$). Показатели функционирования ССС свидетельствуют о большом напряжении компенсаторно-восстановительных резервов мальчиков 2 группы, что проявляется более медленным восстановлением после физической нагрузки.

Исследования, проведенные на Севере, показывают, что особенностями организма подростков – жителей Крайнего Севера, подвергающихся воздействию холодного фактора и необычного фотопериодизма, являются склонность к снижению переносимости гипоксемии, увеличению МОК и гипертензии, замедленное восстановление ЧСС после физической нагрузки (более 2 мин). Последнее говорит о том, что затрагиваются не только функциональные резервы, но и резервы регуляции [15].

Зарубежные исследователи говорят о том, что кардиометаболические нарушения хорошо отслеживаются с детства (подросткового возраста) до зрелого возраста, и важно разработать более эффективные стратегии вмешательства в области общественного здравоохранения для снижения этих факторов риска как можно раньше в течение жизни, чтобы уменьшить частоту сердечно-сосудистых заболеваний в более позднем возрасте [22].

Результаты определения уровня адаптационных возможностей организма обучающихся по Р.М. Баевскому представлены на рисунке 3.

Полученные данные свидетельствуют о том, что 57,5% из 1 группы и 47,31% из 2 группы обучающихся – характеризуются высокими или достаточными функциональными возможностями организма, с удовлетворительной адаптацией к условиям окружающей среды.



■ Удовл. адаптация ■ Напряжение адаптации ■ Неудовл. адаптация ■ Срыв адаптации

Рис. 3. Распределение обучающихся г. Сургута по уровню адаптационного потенциала, %

Полученные результаты в 1 группе исследуемых свидетельствуют о том, что нагрузка, которую они испытывают в процессе обучения и сезонных изменений погоды, приводит к срыву адаптации у 33% мальчиков и 27% девочек. Перенапряжение регуляторных систем детского организма может привести к формированию заболеваний.

Следует отметить, что у девочек (40%) этой группы достаточно выражено функциональное напряжение механизмов адаптации по сравнению с мальчиками (12%). Эти обучающиеся нуждаются в мероприятиях по снижению стрессового действия условий окружающей среды, в оздоровлении, направленном на усиление саморегуляции организма. Удовлетворительный уровень адаптации встречается лишь у 22% девочек и 13% мальчиков.

С возрастом количество обучающихся со срывом адаптационных возможностей становится немного меньше (2 группа): 25% мальчиков и 22% девочек, при этом доля обучающихся с неудовлетворительным уровнем адаптационных возможностей увеличивается с 33% до 43% у мальчиков и с 20% до 37% у девочек.

Заключение

Таким образом, выявленные половозрастные особенности антропометрических данных обучающихся 11–14 лет, проживающих в г. Сургуте, соответствуют оптимальному уровню соматического развития большинства обследованных подростков. Адаптационные возможности организма обучающихся обеих групп в весенний период (февраль–март) находятся на сниженном уровне работоспособности, приблизительно у 30% наблюдается срыв адаптации, который характеризуется резким снижением уровня функциональных возможностей системы кровообращения. Выявленные особенности обусловлены «синдромом географической широты», сменой сезонов года (зима–весна), а также завершением третьей, самой продолжительной (10 недель) учебной четверти.

Полученные данные можно использовать для разработки методических рекомендаций по снижению риска развития дезадаптационных состояний у обучающихся в течение учебного года, а также мер эффективной профилактики заболеваемости детей, проживающих в специфических климато-географических условиях Севера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богачева Е. В., Комарова А. А., Антонова И. В., Мурашев Е. В., Антонов О. В. Оценка и анализ физического развития детей и подростков // Вестник СУРГУ. Медицина. 2012. № 4. С. 9–12.
2. Войнов В. Б., Кульба С. Н. Закономерности роста и физического развития мальчиков и девочек школьного возраста Ростовской области. Общие и частные феномены // Новые исследования. 2016. № 1(46). С. 5–22.
3. Гончарова Г. А., Скоблина Н. А. Психогигиенические аспекты предупреждения нарушений здоровья и развития у детей и подростков в период школьного онтогенеза // Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы. 2019. С. 62–77.
4. Димитриев Д. А., Карпенко Ю. Д. Возрастные особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы у школьников // Филология и культура. 2011. № 24. С. 15–18.
5. Ермолаева С. В. Оценка физического развития и адаптивных возможностей организма школьников Ульяновской области // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 4. С. 90–93.
6. Ефимова Н. В., Мильникова И. В. Оценка кардиогемодинамических показателей у детей Крайнего Севера и Сибири // Экология человека. 2017. № 2. С. 10–16.
7. Кундакян К. В., Кувшинова Т. К. Физкультура и спорт в жизни современных детей и подростков // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2018. Т. 8. № 10. С. 520.

8. Литовченко О. Г., Уханова А. А. Показатели функционального состояния сердечно-сосудистой системы детей 11-12 лет, проживающих в условиях северного региона // *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2019. Т. 21. № 3. С. 27–31.
9. Мальков О. А., Асланханов М. А., Осин М. В. Динамическая оценка физиологического влияния аэробных нагрузок на компонентный состав тела детей 7–11 лет // *Вестник Томского государственного университета*. 2019. № 445. С. 186–191. <https://doi.org/10.17223/15617793/445/28>
10. Методические рекомендации «Оценка физического развития детей и подростков» // *Нормативно-методические и справочные материалы*. 2018. № 1(194). С. 4–77.
11. Семенова М. В., Шибкова Д. З. Половозрастные особенности динамики длины тела учащихся 7–16 лет гимназии эстетического профиля (лонгитудинальное исследование) // *Новые исследования*. 2012. № 4(33). С. 88–98.
12. Сетко А. Г., Терехова Е. А., Сетко И. М. Сравнительные особенности алиментарного статуса детей и подростков в условиях различных типов образовательных организаций // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. V. 18. № 2-3. С. 794–799.
13. Солонин Ю. Г. Влияние социальных и природно-климатических факторов на здоровье подростков-северян // *Здравоохранение Российской Федерации*. 2012. № 5. С. 28–31.
14. Солонин Ю. Г. Исследования по широтной физиологии (обзор) // *Журнал медико-биологических исследований*. 2019. Т. 7. № 2. С. 228–239.
15. Стародубов В. И., Мельников А. А., Руднев С. Г. О половом диморфизме роста-весовых показателей и состава тела российских детей и подростков в возрасте 5-18 лет: результаты массового популяционно-го скрининга // *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2017. Т. 72. № 2. С. 134–142.
16. Яцун С. М., Соколова И. А., Лунева Н. В. Физическое развитие как объективный показатель состояния здоровья обучающихся // *Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке»*. 2017. Т. 19. № 2. С. 26–30.
17. Aziz W., Schlindwein F. S., Wailoo M., Biala T., Rocha F. C. Heart rate variability analysis of normal and growth restricted children // *Clinical Autonomic Research*. 2012. V. 22. № 2. P. 91–97. <https://doi.org/10.1007/s10286-011-0149-z>
18. Charzewski J., Lewandowska J., Kalka E., Orlicz B. Age at menarche in Warsaw girls in 1976–1986 // *Growth and ontogenetic development in Man IV. Proceeding of the Symposium held in Humpoles on September 5th 1989. Prague, 1994*. P. 318–320.
19. Chaves R. et al. Height, weight, body composition, and waist circumference references for 7-to 17-year-old children from rural Portugal // *Homo*. 2015. V. 66. № 3. P. 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2014.03.007>
20. Chen S. R., Chiu H. W., Lee Y. J., Sheen T. C., Jeng C. Impact of pubertal development and physical activity on heart rate variability in overweight and obese children in Taiwan // *The Journal of School Nursing*. 2012. V. 28. № 4. P. 284–290. <https://doi.org/10.1177%2F1059840511435248>
21. De la Puente M. L. et al. Cross-sectional growth study of the child and adolescent population of Catalonia (Spain) // *Annals of human biology*. 1997. V. 24. № 5. P. 435–452. <https://doi.org/10.1080/03014469700005202>
22. Dos Santos F. K. et al. Body mass index, cardiorespiratory fitness and cardiometabolic risk factors in youth from Portugal and Mozambique // *International Journal of Obesity*. 2015. V. 39. № 10. P. 1467–1474. <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.110>
23. Yampolskaya 2005 – Yampolskaya Y.A. Intra- and interpopulation Variability and Evaluation of the physical Development of a Young Generation // *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*. 2005. V. 24(4). P. 503–506.

REFERENCES

1. Bogacheva, E. V., Komarova, A. A., Antonova, I. V., Murashev, E. V., & Antonov, O. V. (2012). Evaluation and analysis of physical development of children and youth. *Vestnik SURGU. Medicina*, (4), 9-12. (In Russian).
2. Voinov, V. B., & Kul'ba, S. N. (2016). Zakonomernosti rosta i fizicheskogo razvitiya mal'chikov i devochek shkol'nogo vozrasta Rostovskoi oblasti. Obshchie i chastnye fenomeny. *Novye issledovaniya*, (1 (46)). 5-22. (In Russian).
3. Goncharova, G. A., & Skoblina, N. A. (2019). Psikhogigienicheskie aspekty preduprezhdeniya narushenii zdorov'ya i razvitiya u detei i podrostkov v period shkol'nogo ontogeneza. In *zdorov'E molodezhi: novye vyzovy i perspektivy*, 62-77. (In Russian).
4. Dimitriev, D. A., & Karpenko, Yu. D. (2011). Vozrastnye osobennosti funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoi sistemy u shkol'nikov. *Filologiya i kul'tura*, (24). 15-18. (In Russian).
5. Ermolaeva, S. V. (2014). Otsenka fizicheskogo razvitiya i adaptivnykh vozmozhnostei organizma shkol'nikov Ul'yanovskoi oblasti. *Gigiena i sanitariya*, 93(4). 90-93. (In Russian).
6. Efimova, N. V., & Myl'nikova, I. V. (2017). Otsenka kardiogemodinamicheskikh pokazatelei u detei Krainego Severa i Sibiri. *Ekologiya cheloveka*, (2). 10-16. (In Russian).

7. Kundakchyan, K. V., & Kuvshinova, T. K. (2018). Fizkul'tura i sport v zhizni sovremennykh detei i podrostkov. *In Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsii*, 8(10). 520. (In Russian).
8. Litovchenko, O. G., & Ukhanova, A. A. (2019). Pokazateli funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoi sistemy detei 11-12 let, prozhivayushchikh v usloviyakh severnogo regiona. *Medical & pharmaceutical journal "Pulse"*, 21(3). 27-31. (In Russian).
9. Mal'kov, O. A., Aslankhanov, M. A., & Osin, M. V. (2019). Dynamic Assessment of the Physiological Influence of Aerobic Loads on the Body Component Composition of Children aged 7–11. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 445, 186-191. (In Russian). <https://doi.org/10.17223/15617793/445/28>
10. Metodicheskie rekomendatsii "Otsenka fizicheskogo razvitiya detei i podrostkov" (2018). *Normativno-metodicheskie i spravochnye materialy*, 1(194). 4-77. (In Russian).
11. Semenova, M. V., & Shibkova, D. Z. (2012). Polovozrastnye osobennosti dinamiki dliny tela uchashchikhsya 7–16 let gimnazii esteticheskogo profilya (longitudinal'noe issledovanie). *Novye issledovaniya*, (4 (33)). 88-98. (In Russian).
12. Setko, A. G., Terekhova, E. A., & Setko, I. M. (2016). Comparative features of the nutritional status of children and teenagers in the conditions of various types of educational institutions. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 18(2-3). 794-799. (In Russian).
13. Solonin, Yu. G. (2012). Vliyanie sotsial'nykh i prirodno-klimaticheskikh faktorov na zdorov'e podrostkov-severyan. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, (5). 28-31. (In Russian).
14. Solonin, Yu. G. (2019). Issledovaniya po shirotnoi fiziologii (obzor). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*, 7(2). 228–239. (In Russian).
15. Starodubov, V. I., Mel'nikov, A. A., & Rudnev, S. G. (2017). O polovom dimorfizme rosto-vesovykh pokazatelei i sostava tela rossiiskikh detei i podrostkov v vozraste 5-18 let: rezul'taty massovogo populyatsionnogo skrininga. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*, 72(2). 134-142. (In Russian).
16. Yatsun, S. M., Sokolova, I. A., & Luneva, N. V. (2017). Fizicheskoe razvitie kak ob'ektivnyi pokazatel' sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchikhsya. *Elektronnyi nauchno-obrazovatel'nyi vestnik "Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke"*, 19(2). 26-30. (In Russian).
17. Aziz, W., Schlindwein, F. S., Wailoo, M., Biala, T., & Rocha, F. C. (2012). Heart rate variability analysis of normal and growth restricted children. *Clinical Autonomic Research*, 22(2), 91-97. <https://doi.org/10.1007/s10286-011-0149-z>
18. Charzewski J., Lewandowska J., Kalka E., Orlicz B. (1994). Age at menarche in Warsaw girls in 1976–1986. *In Growth and ontogenetic development in Man IV. Proceeding of the Symposium held in Humpoles on September 5th 1989. Prague*, 318–320.
19. Chaves, R., Baxter-Jones, A., Souza, M., Santos, D., & Maia, J. (2015). Height, weight, body composition, and waist circumference references for 7-to 17-year-old children from rural Portugal. *Homo*, 66(3), 264-277. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2014.03.007>
20. Chen, S. R., Chiu, H. W., Lee, Y. J., Sheen, T. C., & Jeng, C. (2012). Impact of pubertal development and physical activity on heart rate variability in overweight and obese children in Taiwan. *The Journal of School Nursing*, 28(4), 284-290. <https://doi.org/10.1177%2F1059840511435248>
21. De la Puente, M. L., Canela, J., Alvarez, J., Salleras, L., & Vicens-Calvet, E. (1997). Cross-sectional growth study of the child and adolescent population of Catalonia (Spain). *Annals of human biology*, 24(5), 435-452. <https://doi.org/10.1080/03014469700005202>
22. Dos Santos, F. K., Prista, A., Gomes, T. N. Q. F., Santos, D., Damasceno, A., Madeira, A., ... & Maia, J. A. R. (2015). Body mass index, cardiorespiratory fitness and cardiometabolic risk factors in youth from Portugal and Mozambique. *International Journal of Obesity*, 39(10), 1467-1474. <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.110>
23. Yampolskaya Y.A. (2005). Intra- and interpopulation Variability and Evaluation of the physical Development of a Young Generation. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 24(4). 503-506.

Осин М. В., Мальцев В. П. Оценка морфофизиологических характеристик обучающихся, проживающих в условиях севера // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 116–123. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/15>

Osin, M. V., & Maltsev, V. P. (2020). Evaluation of morpho-physiological characteristics of students living in northern conditions. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 116–123. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/15>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Осин М.В., Мальцев В.П.

Д. В. Суринов, О. Н. Рагозин, Е. Ю. Шаламова, И. А. Шевнин

МЕЖПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РИТМОВ ГЕМОДИНАМИКИ У ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА С НАРУШЕНИЕМ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

D. V. Surinov, O. N. Ragozin, Ye. Yu. Shalamova, I. A. Shevnin

INTER-GENDER FEATURES OF HEMODYNAMICS RHYTHMS IN NORTHERNERS WITH IMPAIRED VEGETATIVE REGULATION OF ARTERIAL PRESSURE

Аннотация. Нейроциркуляторная дистония выступает одним из признаков нарушения адаптации к меняющимся условиям внешней и внутренней среды, при котором происходит нарушение нейрогуморальной регуляции различных систем организма, в том числе и сердечно-сосудистой. Поэтому необходимо проводить изучение нарушений регуляции артериального давления на этапах взросления, в детском и юношеском возрасте. Целью настоящей работы явилось изучение межполовых особенностей ритмов артериального давления и частоты сердечных сокращений у пациентов с гипертонической формой нейроциркуляторной дистонии, проживающих в северном регионе. Для проверки гипотезы о наличии множества цикличностей применялась программа, использующая вейвлет-анализ. У обследуемых с нейроциркуляторной дистонией, особенно женщин, наблюдается распад циркадианной структуры ритмов гемодинамики, с повышенным среднесуточным значением. У людей, проживающих в северном регионе, наблюдаются нарушения вегетативной регуляции ритмов артериального давления в виде мезорного, гиперамплитудного и ультрадианного десинхронозов.

Ключевые слова: вегетативная регуляция; артериальное давление; вейвлет-анализ; Север.

Abstract. Patients should be examined for blood pressure regulation disorders starting from a young age though adolescence and young adulthood. In this aspect, it is necessary to pay attention to neurocirculatory dystonia, as a phenomenon of impaired adaptation to changing environmental and internal conditions in which the neurohumoral regulation of various body systems, including cardiovascular, can be violated. The aim of this work was to study the inter-gender characteristics of blood pressure rhythms and heart rate in patients with hypertensive neurocirculatory dystonia living in the northern region. Wavelet analysis was used to test the hypothesis of numerous cyclicities. In patients with neurocirculatory dystonia, especially in women, the circadian structure of hemodynamic rhythms was observed to decay with an increased average daily value. The violation of vegetative regulation of arterial pressure rhythms was present in the examined northerners in the form of mesor, hyperamplitude and ultradian desynchronization.

Key words: autonomic regulation; blood pressure; wavelet-analysis; North.

Сведения об авторах: Суринов Даниил Владимирович, ORCID: 0000-0001-5822-8575, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, surinof.daniil@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; Шевнин Игорь Андреевич, ORCID: 0000-0003-1772-1026, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, igor_shevnin@mail.ru.

About the authors: Surinov Daniil Vladimirovich, ORCID: 0000-0001-5822-8575, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, surinof.daniil@yandex.ru; Ragozin Oleg Nikolaevich, ORCID: 0000-0002-5318-9623, Dr. habil., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, oragozin@mail.ru; Shalamova Elena Yuryevna, ORCID: 0000-0001-5201-4496, Ph.D., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, selenzik@mail.ru; Igor Shevnin, ORCID: 0000-0003-1772-1026, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, igor_shevnin@mail.ru.

Введение

Распространенность повышенного артериального давления (АД) в молодой популяции составляет 7–18%, и в большинстве случаев артериальная гипертензия (АГ) сохраняется, прогрессирует и ведет к развитию сердечно-сосудистых осложнений [7]. Артериальная гипертензия является одним из наиболее распространенных последствий и признаков дизадаптации у населения север-

ных территорий [18]. Становится очевидной необходимость диагностики, профилактики и лечения АГ на ранних этапах ее становления, в юношеском возрасте, а не на стадии стабилизации и органических повреждений [9]. Ранней диагностике патологии сердечно-сосудистой системы способствует выявление преморбидных состояний, т. к. зачастую начало заболевания бессимптомно [15]. В то же время функциональный статус кардиореспираторной системы молодых людей зависит от климатогеофизических условий [14]. В аспекте влияния природных факторов на состояние организма человека необходимо обратить внимание на нейроциркуляторную дистонию (НЦД). Ее формирование может быть следствием нарушения адаптации к меняющимся условиям внешней и внутренней среды, при котором происходит нарушение нейрогуморальной регуляции различных систем организма, в том числе и сердечно-сосудистой системы [6]. У детей и подростков на севере обнаружено дизадаптивное состояние системной регуляции мозгового кровотока, обозначенное как «синдром полярной нейроциркуляторной дистонии» [17].

Одним из признаков развивающейся патологии гемодинамической функции выступает нарушение временной организации. Десинхроноз повышает риск осложнений со стороны сердечно-сосудистой системы [8]. В условиях северных территорий отмечаются гендерные и широтные особенности регуляции функций системы кровообращения [13]. В группах здоровых молодых людей, проживающих в северном регионе, была обнаружена разная степень нарушения хроноструктуры гемодинамических функций у юношей и девушек [20]. Это обосновывает необходимость отслеживать компоненты климатического десинхроноза [10], половых различий биоритмической адаптации [4] и роль лекарственных средств в развитии десинхроноза [11] для комплексной оценки хронома АД в норме и при патологии.

Целью настоящей работы явилось изучение межполовых особенностей ритмов артериального давления и частоты сердечных сокращений у пациентов с гипертонической формой нейроциркуляторной дистонии, проживающих в северном регионе.

Материал и методы исследования

Для анализа нарушений регуляции АД и сердечного ритма обследовано 49 пациентов с диагнозом: Нейроциркуляторная дистония (НЦД), гипертоническая форма (код по МКБ-10 G90.8 (Другие расстройства вегетативной нервной системы)), мужчин – 34, женщин – 15, проходивших обследование и лечение в Окружной клинической больнице г. Ханты-Мансийска в период с 2017 по 2019 гг. Средний возраст пациентов мужского пола – $29,6 \pm 3,4$ г., женского пола – $31,2 \pm 4,6$ г. Были сформированы группы, находящиеся на диагностическом этапе (до назначения антигипертензивной (АГТ) терапии) (ГИ I): 26 мужчин, 9 женщин. На этапе лечения (на фоне антигипертензивной терапии) (ГИ II) обследованы 8 мужчин и 6 женщин. Исследование соответствовало этическим принципам, изложенным в Хельсинкской Декларации.

Всем обследуемым по стандартной схеме (в соответствии с рекомендациями NBREP, США, 1990 г.) проводилось *суточное мониторирование артериального давления* (СМАД) с использованием осциллометрического метода, на оборудовании BPLAB фирмы ООО «Петр Телегин», РФ. Мониторы соответствовали международным стандартам и протоколам AAMI/ANSI (США) и BHS (Великобритания). Измерения проводились через каждые 30 минут днем и в ночные часы, в течение 2 суток. Анализ данных проводился в случае не менее 80% успешных измерений. Оценивали величины систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления и частоты сердечных сокращений (ЧСС).

Для проверки гипотезы о наличии множества цикличностей применялась программа, использующая вейвлет-анализ [16]. Вейвлет – это математическая функция, позволяющая анализировать различные частотные компоненты данных. Анализ сигналов производится в плоскости вейвлет-коэффициентов (масштаб–время–уровень). Полученные вейвлет-спектрограммы принципиально отличаются от обычных спектров Фурье тем, что дают четкую привязку спектра различных сигналов ко времени [12]. Анализировались следующие параметры ритма: среднесуточный уровень показателя (MESOR – Midline Estimating Statistic of Rhythm, статистическая срединная ритма), периоды постоянных и вставочных ритмов, энергия (амплитуда) ритма. Статистическая значимость ритмов оценивалась путем многократной (5000) случайной перестановки уровней исходного временного ряда. Приведенный в работе показатель p демонстрирует долю случаев, когда энергия выделенной частотной составляющей в исходном ряду превышала соответствующую энергию в случайной перестановке.

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным результатам, в обследованных группах сохранность суточной организации показателей сердечно-сосудистой системы отличалась в зависимости от пола и получения антигипертензивной терапии. Так, в группах пациентов с гипертонической формой НЦД до назначения АГТ (ГИ I) (табл. 1) хроноструктура гемодинамики имела выраженные половые отличия. В женской группе отсутствовали околосуточные ритмы САД, ДАД и ЧСС. Наряду с этим у женщин обнаружили формирование статистически значимого ритма ДАД с периодом 12,1 часа ($p = 0,025$) с энергией 1,57 усл. ед. Для остальных показателей ритмы с периодом 12,1 часа были незначимы.

В мужской группе сохранялись околосуточные ритмы САД (период 23,2 часа) ($p = 0,001$) и ДАД (период 23,2 часа) ($p = 0,001$) с высокой энергией: соответственно, 6,38 и 5,97 условных единиц. Для ДАД также отмечается выраженная тенденция к формированию ритма с периодом 12,1 часа ($p = 0,097$). Значимых ритмов для величин ЧСС не обнаружили. Общегрупповые величины MESOR не выходили за пределы диапазона референсных значений.

Таким образом, можно говорить, что в отсутствие антигипертензивной терапии в группах северян с нарушением вегетативной регуляции гемодинамической функции более сохранены циркадианные ритмы артериального давления у мужчин при нарушении околосуточных ритмов у женщин. В исследовании А.Э. Амамчяна (2016) были установлены нарушения компонентов регуляции сосудистого тонуса при гипертонической форме НЦД [3]. В нашем исследовании для сосудистого компонента артериального давления у пациентов без АГТ обнаружены статистически значимые циркадианный ритм у мужчин и ультрадианный ритм с периодом 12,1 в обеих группах, т. е. присутствовали отдельные компоненты нарушения временной организации ДАД.

Таблица 1

Суточные вариации САД, ДАД и ЧСС у мужчин и женщин с гипертонической формой нейроциркуляторной дистонии до назначения антигипертензивной терапии (ГИ I)

Параметры	MESOR (M±m)	Энергия ритма (усл. ед.)	Период ритма (часы)	p
Мужчины (n = 26)				
САД, мм рт. ст.	138,15±1,25	6,380	23,2	0,001
ДАД, мм рт. ст.	83,52±0,89	5,971	23,2	0,001
		1,006	12,1	0,097
ЧСС, уд./мин	74,76±0,90	0,506	12,1	0,303
Женщины (n = 9)				
САД, мм рт. ст.	129,24±1,28	0,800	12,1	0,191
ДАД, мм рт. ст.	84,56±1,12	1,566	12,1	0,025
ЧСС, уд./мин.	76,90±0,97	0,800	12,1	0,192

В группах пациентов, получавших антигипертензивную терапию (ГИ II), хроноструктура оцениваемых показателей в определенной степени отличалась (табл. 2). Так, циркадианные ритмы исследованных параметров гемодинамики были нарушены. У мужчин прослеживалось формирование незначимых вставочных ритмов с периодом 12,1 часа для САД и ЧСС с энергией, соответственно, 1,007 и 0,663 усл. ед. Значимым становился только ритм ДАД с периодом 12,1 ч ($p = 0,043$); для него же определили наиболее высокую энергию (1,433 усл. ед.). У женщин значимых циркадианных и ультрадианных ритмов не выявили, но прослеживалось формирование ритмов САД и ЧСС с периодом 12,1 ч и ДАД с периодом 11,4 ч, характеризующихся невысокой энергией.

Таблица 2

Суточные вариации САД, ДАД и ЧСС у мужчин и женщин с гипертонической формой нейроциркуляторной дистонии на фоне антигипертензивной терапии (ГИ II)

Параметры	MESOR (M±m)	Энергия ритма (усл. ед.)	Период ритма (часы)	p
Мужчины (n = 8)				
САД, мм рт. ст.	128,90±2,11	1,007	12,1	0,122
ДАД, мм рт. ст.	78,43±1,73	1,433	12,1	0,043
ЧСС, уд./мин	73,62±1,03	0,663	12,1	0,275
Женщины (n = 6)				
САД, мм рт. ст.	123,60±1,18	0,428	12,1	0,392
ДАД, мм рт. ст.	79,06±1,23	0,168	11,4	0,750
ЧСС, уд./мин	71,99±0,89	0,868	12,1	0,148

В мужской и женской группах среднесуточный уровень САД и ДАД подтверждает эффективность антигипертензивной терапии.

Для гипотензивной терапии определен ряд побочных эффектов: артериальная гипотензия, инсульты, тахикардия и другие [1]. В нашем исследовании обнаружено, что в условиях применения антигипертензивной терапии при гипертонической форме нейроциркуляторной дистонии нарушается суточная организация компонентов гемодинамической функции у пациентов мужского и женского пола. Это может рассматриваться как один из негативных эффектов, приводящий к рассогласованию межсистемных взаимоотношений.

Результаты исследований ученых в северных регионах [18] позволяют сделать вывод о том, что артериальная гипертензия остается для населения этих территорий страны серьезной проблемой. Климатогеографические факторы Севера предрасполагают к гипертензивным состояниям и способствуют формированию АГ уже в молодом трудоспособном возрасте. Данные исследований последних лет позволяют связать прогрессирование АГ в высоких широтах и других регионах с дискомфортными природными условиями, с хроническим климатогеографическим стрессом [5], что вполне созвучно с данными других ученых, рассматривающих стресс, в том числе психоэмоциональное напряжение, депрессию, тревогу, как один из важных повреждающих факторов. Наиболее характерными ведущими проявлениями климатогеографического стресса в дискомфортных и экстремальных регионах Севера и Сибири являются реакции центральной нервной и эндокринной систем, расстройства северного типа метаболизма, северная тканевая гипоксия, функциональная асимметрия межполушарных взаимоотношений, десинхроноз, метеопатия. Все перечисленные факты обосновывают необходимость изучения зависимости процесса прогрессирования артериальной гипертензии в экстремальных и дискомфортных климатогеографических условиях Севера от основных патогенетических звеньев формирования климатогеографического стресса, а также от гено- и фенотипически обусловленных индивидуальных типов адаптивного реагирования, обеспечивающих уровень стрессоустойчивости человека [13].

Заключение

При проводимых ранее исследованиях по изучению регуляции артериального давления в сложных природных условиях у здоровых людей наблюдался так называемый климатический ультрадианный десинхроноз без повышения уровня артериального давления [5]. У пациентов с нейроциркуляторной дистонией, особенно женщин, также наблюдается распад циркадианной структуры ритмов гемодинамики, но уже с повышением значений мезора. Антигипертензивные препараты влияют на хроноструктуру параметров сердечно-сосудистой системы, согласно хронотерапевтическому принципу «навязывания ритма» [2; 19]. В таких условиях необходима коррекция хроноструктуры параметров сердечно-сосудистой системы, которая поможет отодвинуть сроки формирования осложнений [8].

Таким образом, у людей, проживающих в северном регионе, наблюдаются нарушения архитектоники ритмов артериального давления в виде мезорного, гиперамплитудного, ультрадианного десинхронозов, а при назначении антигипертензивной терапии – и навязанного ритма. Нарушение временной организации гемодинамической функции обуславливает необходимость разработки мероприятий, направленных на восстановление ритмики, при помощи организации комфортного режима искусственного освещения, при необходимости – медикаментозными средствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахманова А. И., Амиров Н. Б., Цибулькин Н. А. Медикаментозное лечение артериальной гипертензии и его побочные эффекты у пациентов старшего возраста // Вестник современной клинической медицины. 2016. Т. 9. № 2. С. 110–116. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2016.9\(2\).110-116](https://doi.org/10.20969/VSKM.2016.9(2).110-116)
2. Агаджанян Н. А., Петров В. И., Радыш И. В., Краюшкин С. И. Хронофизиология, хронофармакология и хронотерапия. Волгоград, 2005. 336 с.
3. Амамчян А. Э. Гемодинамические варианты регуляции кровообращения и особенности сосудистых реакций у подростков с нейроциркуляторной дистонией // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2016. № 1. С. 48–51.
4. Башкирева Т. В., Башкирева А. В. Гендерные различия ультрадианных ритмов спектральной оценки мощности гармоник с учётом уровня агрессии у спортсменов-парашютистов в спорте высших достижений // Современные вопросы биомедицины. 2018. Т. 2(3). С. 24–29.

5. Бочкарев М. В., Рагозин О. Н., Радьш И. В. Проявления сезонного десинхроноза в условиях Севера в зависимости от функционального состояния эпифиза // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». 2007. Т. 9. № 4. С. 130.
6. Васильев А. П., Стрельцова Н. Н., Дубова Т. В. Нейроциркуляторная дистония // Лечащий врач. 2017. № 8. С. 74–79.
7. Ватугин Н. Т., Склянная Е. В. Распространенность артериальной гипертензии и факторов риска у лиц молодого возраста // Архив внутренней медицины. 2017. Т. 7. № 1. С. 30–34. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2017-7-1-30-34>
8. Датиева Ф. С., Березова Д. Т. Хрономедицинские технологии в персонифицированной профилактике сердечно-сосудистых заболеваний // Современные вопросы биомедицины. 2018. Т. 2. № 3(4). С. 64–71.
9. Климов А. В., Денисов Е. Н., Иванова О. В. Артериальная гипертензия и ее распространенность среди населения // Молодой ученый. 2018. № 50(236). С. 86–90.
10. Корягина Ю. В., Тер-Акопов Г. Н. Десинхроноз в спорте: здоровье и физическая работоспособность // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10. С. 77–81.
11. Косарев А. Н., Рагозин О. Н. Десинхронизирующие эффекты лекарственных средств, применяемых для медикаментозной седации при осложненном алкогольном абстинентном синдроме // Вопросы наркологии. 2014. № 4. С. 29–36.
12. Кравченко В. Ф., Чуриков Д. В. Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами. М.: Техносфера. 2018. 182 с.
13. Кривошеков С. Г. Гено-фенотипические особенности адаптации сердечно-сосудистой системы человека к экстремальным факторам внешней среды // Медицина Кыргызстана. 2018. № 6. С. 25–27.
14. Погоньшева И. А., Погоньшев Д. А. Особенности морфофункциональных параметров организма молодых людей, проживающих в разных климатогеофизических условиях окружающей среды // Вестник Нижневартского государственного университета. 2017. № 1. С. 68–74.
15. Погоньшева И. А., Погоньшев Д. А., Луняк И. И. Показатели дисперсионного картирования электрокардиограммы у студентов северного вуза // Вестник Нижневартского государственного университета. 2019. № 2. С. 98–104. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/12>
16. Рагозин О. Н., Бочкарев М. В., Косарев А. Н., Кот Т. Л., Татаринцев П. Б. Программа «Исследование биологических ритмов методом вейвлет-анализа». Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014611398, дата регистрации 03.02 2014 г.
17. Рожков В. П., Сороко С. И. Сравнительные исследования мозгового кровотока у детей и подростков, проживающих в Северном и Арктическом регионах // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2019. Т. 105. № 1. С. 43–61. <https://doi.org/10.1134/S0869813919010072>
18. Хаснулин В. И., Воевода М. И., Хаснулин П. В., Артамонова О. Г. Современный взгляд на проблему артериальной гипертензии в приполярных и арктических регионах. Обзор литературы // Экология человека. 2016. № 3. С. 43–51.
19. Чибисов С. М., Халаби Г. М., Катинас Г. С. Десинхронизация биологических ритмов. Москва-Бейрут. 2015. 288 с.
20. 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.

REFERENS

1. Abdrakhmanova, A. I., Amirov, N. B., & Tsi bulkin, N. A. (2016). Features of pharmacological effects of anti-hypertensive drugs in elderly patients. *The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*, 9(2), 110–116. (In Russian). [https://doi.org/10.20969/VSKM.2016.9\(2\).110-116](https://doi.org/10.20969/VSKM.2016.9(2).110-116)
2. Agadzhanian, N. A., Petrov, V. I., Radysh, I. V., & Krayushkin, S. I. (2005). *Khronofiziologiya, khronofarmakologiya i khronoterapiya*. Volgograd. (In Russian).
3. Amamchyan A. E. (2016). Hemodynamic variants the regulation of blood flow and the features of vascular reactions in teenagers with neurocirculatory dystonia. *Zhurnal fundamental'noi meditsiny i biologii*, (1), 48-51. (In Russian).
4. Bashkireva, T.V., & Bashkireva, A. V. (2018). Gender differences of ultradian rhythms of spectral estimation of harmonic power with the account of aggression level in sportship participants in sports of higher achievements. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*, 2(3), 24-29. (In Russian).
5. Bochkarev, M. V., Ragozin, O. N., & Radysh, I. V. (2007). *Proyavleniya sezonogo desinkhronoza v usloviyakh severa v zavisimosti ot funktsional'nogo sostoyaniya epifiza. Elektronnyi sbornik nauchnykh trudov "Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke"*, 9(4), 130-130. (In Russian).
6. Vasiliev, A. P., Streltsova, N. N., & Dubova, T. V. (2017). *Neirotsirkulyatornaya distoniya. Lechashchii vrach*, (8), 74-79. (In Russian).

7. Vatutin, N. T., & Sklyanna, E. V. (2017). Prevalence of arterial hypertension and risk factors in young adults. *The Russian Archives of Internal Medicine*, 7(1). 30-34. (In Russian). <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2017-7-1-30-34>
8. Datieva, F. S., & Berezova, D. T. (2018). Chronomedical technologies in personalized prevention of cardiovascular disease. *Modern issues of biomedicine*, 2(3(4)), 64-71. (In Russian).
9. Klimov, A. V., Denisov, E. N., & Ivanova, O. V. (2018). Arterial'naya gipertenziya i ee rasprostranennost' sredi naseleniya. *Molodoi uchenyi*, 50(236). 86-90. (In Russian).
10. Koryagina, Yu. V., & Ter-Akopov, G. N. (2017). Jetlag (circadian rhythm disorder) in sport: health and physical working performance. *International Journal of Applied and Basic Research*, (10), 77–81. (In Russian).
11. Kosarev, A. N., Ragozin, O. N. (2014). Desynchronizing effects of medications used for sedation in cases of complicated alcohol withdrawal syndrome. *Journal of addiction problems*, (4). 29-36. (In Russian).
12. Kravchenko, V. F., & Churikov, D. V. (2018). Tsifrovaya obrabotka signalov atomarnymi funktsiyami i veivletami. Moscow. (In Russian).
13. Krivoshchekov, S. G. (2018). Geno-fenotipicheskie osobennosti adaptatsii serdechno-sosudistoi sistemy cheloveka k ekstremal'nym faktoram vneshnei sredy. *Meditsina Kirgystana*, (6), 25-27. (In Russian).
14. Pogonysheva, I. A., & Pogonyshv, D. A. (2017). Special characteristics of morphofunctional parameters of bodies of young adults living in climatically and geographically different environments. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1), 68-74. (In Russian).
15. Pogonysheva, I. A., Pogonyshv, D. A., & Lunjak, I. I. (2019). Parameters of ecg dispersion mapping among students of northern university. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2), 98-104. (In Russian). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/12>
16. Ragozin, O. N., Bochkarev, M. V., Kosarev, A. N., Kot, T. L., & Tatarintsev, P. B. (2014). Programma "Issledovanie biologicheskikh ritmov metodom veivlet-analiza". Sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM №2014611398, data registratsii 03.02 2014 g. (In Russian).
17. Rozhkov, V. P., & Soroko, S. I. (2019). Comparative studies of cerebral blood flow in children and adolescents living in the north and arctic regions. *Russian Journal of Physiology*, 105(1), 43-61. (In Russian). <https://doi.org/10.1134/S0869813919010072>
18. Hasnulin, V. I., Voevoda, M. I., Hasnulin, P. V., & Artamonova, O. G. (2016). Modern approach to arterial hypertension in the circumpolar and Arctic Regions. Literature review. *Human ecology*, (3), 43-51. (In Russian).
19. Chibisov, S. M., Khalabi, G. M., & Katinas, G. S. (2015). Desinkhronizatsiya biologicheskikh ritmov. Moscow-Beirut. (In Russian).
20. Shalamova, E. Ju., Ragozin, O. N., Safonova, V. R. (2016). Biorythmological particulars and elements of the desynchronization of the central hemodynamics parameters in the students of the northern medical higher educational institution. *Human ecology*, (6), 26-32. (In Russian).

Суринов Д. В., Рагозин О. Н., Шаламова Е. Ю., Шевнин И. А. Межполовые особенности ритмов гемодинамики у жителей севера с нарушением вегетативной регуляции артериального давления // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 2. С. 124–129. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/16>

Surinov, D. V., Ragozin, O. N., Shalamova, Ye. Yu., & Shevnin, I. A. (2020). Inter-gender features of hemodynamics rhythms in northerners with impaired vegetative regulation of arterial pressure. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 124–129. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/16>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Суринов Д.В., Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю., Шевнин И.А.

O. N. Ragozin, Ye. Yu. Shalamova, N. A. Ilyushchenko,
O. V. Ragozina, I. A. Shevnin, D. V. Surinov

SEX AND AGE CHARACTERISTICS OF DAILY ACTIVITY OF DISTANCE LEARNING STUDENTS IN NORTHERN CLIMATE

О. Н. Рагозин, Е. Ю. Шаламова, Н. А. Ильющенко,
О. В. Рагозина, И. А. Шевнин, Д. В. Суринов

ПОЛОВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУТОЧНОЙ АКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ НА СЕВЕРЕ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ

Abstract. The purpose of the work is to study the time preferences of students performing daily tasks during distance learning and to determine if such preferences depend on sex and the year of study. In the absence of social regulation, the daytime and nighttime activity of students corresponded to the distribution of chronotypes that typifies a northern region, with arrhythmic and evening types prevailing but the morning bi-rhythmic stereotype having a minimal representation. With no 'master timer' in distance learning, students demonstrated pronounced sex differences in the daily dynamics of performance. Young females had maximum performance during the day and minimum performance at night, which corresponds to the most common type. Young males were observed to have several ascents in their performance during the 24-hour period. First-year and second-year students' learning behavior was less synchronized with the day-night cycle. The wavelet analysis found insignificant four to five hourly rhythmic fluctuations that occurred in the evening hours, during the period of students' high educational performance.

Key words: performance rhythms; distance learning; north; wavelet-analysis.

Аннотация. Цель работы – исследовать временные предпочтения выполнения ежедневных заданий студентами при дистанционном обучении с учетом пола и курса обучения. Присутствие дневной и вечерней активности студентов при отсутствии социальной регламентации соответствует распределению хронотипов, характерному для северного региона, где преобладают аритмичный и вечерний типы при минимальном представителе утренняя биоритмологического стереотипа. При отсутствии социального задатчика времени при дистанционном обучении у студентов наблюдаются выраженные межполовые различия суточной динамики работоспособности. Девушки демонстрируют классический тип с максимальными значениями днем и минимальными ночью, у юношей наблюдается кривая с несколькими подъемами активности. Студенты младших курсов менее синхронизированы с циклом день–ночь. При проведении вейвлет-анализа обнаруживаются незначимые ритмические колебания с периодом 4–5 часов, которые возникают в вечерние часы, в период высокой учебной продуктивности студентов.

Ключевые слова: ритмы работоспособности; дистанционное обучение; север; вейвлет-анализ.

About the authors: Ragozin Oleg Nikolayevich, ORCID: 0000-0002-5318-9623, Dr. habil., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, oragozin@mail.ru; Shalamova Yelena Yurievna, ORCID: 0000-0001-5201-4496, Ph.D., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, selenzik@mail.ru; Ilyushchenko Natalia Alexandrovna, ORCID: 0000-0002-1261-3352, Ph.D., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, iluyshenko@yandex.ru; Ragozina Olga Vasilyevna, ORCID: 0000-0002-4051-7819, Ph.D., Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, olgalragozina111@gmail.com; Shevnin Igor Nikolayevich, ORCID: 0000-0003-1772-1026, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, igor_shevnin@mail.ru; Surinov Daniil Vladimirovich, ORCID: 0000-0001-5822-8575, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, surinof.daniil@yandex.ru.

Сведения об авторах: 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; Ильющенко Наталья Александровна, ORCID: 0000-0002-1261-3352, канд. мед. наук, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, iluyshenko@yandex.ru; Рагозина Ольга Васильевна, ORCID: 0000-0002-4051-7819, канд. мед. наук, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, olgalragozina111@gmail.com; Шевнин Игорь Андреевич, ORCID: 0000-0003-1772-1026, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, igor_shevnin@mail.ru; Су-

ринов Даниил Владимирович, ORCID: 0000-0001-5822-8575, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, surinof.daniil@yandex.ru.

Introduction

Students' adaptation to studying at the university has always been challenging. The new social role implies that a student needs to develop new behavioral repertoire and seek opportunities to establish oneself in the new status. This process of gaining a foothold in the unfamiliar environment takes a long time, and it causes students anxiety and stress. Students' activity decreases, and they may fail to adopt new behaviors and perform usual activities [7].

The adaptation process includes biological, social and psychological levels. The biological level is associated with acclimatization or with the genotype and selection of useful traits (distance runner, sprinter). The social level is associated with the socialization and the interiorization of new group norms. The psychological level of adaptation is realized through decision making, manifestations of activity and expected results of actions [2; 5; 14].

The daily dynamics of human performance is rather pronounced. As a rule, humans are highly capable in the daytime but their performance declines at night. At the 'warm-up' phase, the performance is unstable and changes in waves; hence one can observe the instability of work actions and slight increases/decreases in the quantitative and qualitative characteristics of labor productivity. At the phase of sustainable performance, the productivity is stably high. At the phase of decreasing performance (fatigue), there appear tiredness, low motivation, a lack of interest in the current work, disturbance of the general sense of well-being, bad mood, erroneous actions, and the general deterioration of labor productivity [1; 16].

Distance learning at the university is generating considerable interest [4; 9; 12], and it seems relevant to study the dynamics of mental performance in the absence of a 'master timer', such as a class schedule or a lesson plan, in distance learning. The *purpose of this work* is to study the time preferences of students performing daily tasks during distance learning and to determine if such preferences depend on sex and the year of study.

Participants, Materials and Procedure

Male and female students enrolled in the Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, participated in the study. The students could choose the time of study and rest themselves, with no actual class schedule. The activity of distance learning students in time was investigated. Upon receipt of the students' responses to daily tasks, the time of file arrival to the professor's computer was recorded.

In total, the arrival time of 1,374 files was analyzed, of which 386 were the completed tasks turned in by young males, and 988 by young females. The turned-in tasks belonged to the following courses:

- first-year course of *anatomy*, 200 by male students, 446 by female students, 646 in total;
- second-year course of *normal physiology* the students', 43 by male students, 192 by female students, 235 in total;
- third-year course of *operative surgery*, 82 by male students, 185 by female students, 267 in total;
- fifth-year course of *hospital therapy* (5 and 6 courses), 50 by male students, 104 by female students, 154 in total;
- sixth-year course of *hospital therapy*, 11 by male students, 61 by female students, 72 in total;

The students' responses were divided by sex and the year of study and entered into the database with time accuracy of one hour. The absolute number of responses was converted into relative indicators for comparison (conventional units). The study continued from 19 March to 30 April 2020.

Wavelet analysis was used to test the hypothesis of multiple cycles [13]. A wavelet is a mathematical function that allows analyzing frequency components of collected data. Signals are analyzed in the plane of wavelet coefficients (scale – time – level). The obtained wavelet spectrograms fundamentally differ from regular Fourier spectra in that they give a clear reference of a signal spectrum to time [6]. In this study, the periods of constant and insertion rhythms, their energy (amplitude) and significance were analyzed.

Results

First to sixth-year medical students demonstrated sex differences of a qualitative nature in the daily learning activity (Fig. 1). The observation of the female students' behavior produced a fairly smooth daily

curve, with a decrease in the nighttime, minimum activity around 7–8 am, a non-stepped increase in the daytime, and maximum activity from 4 pm to 10 pm.

To compare, the male students had periods of activity interrupted by episodes of inactivity. The surges in activity occurred at 11 am, 1 pm, 5 pm, 9 pm, and 11 pm. It should be noted that there were surges of night activity at 3–4 am.

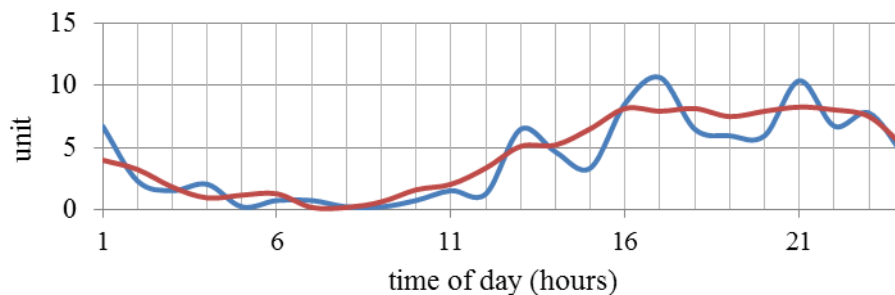


Fig. 1. Daily activity of first to sixth-year students in distance learning: — male; — female

The learning activity of junior and senior students by sex is shown in Figure 2 for females and Figure 3 for males. The both senior and junior female students demonstrated a noticeable activity completing educational tasks at night. The junior female students were highly active throughout the day till the evening, while the senior female students most often turned in the completed tasks at 11 am, 2 pm, 7 pm and 9 pm.

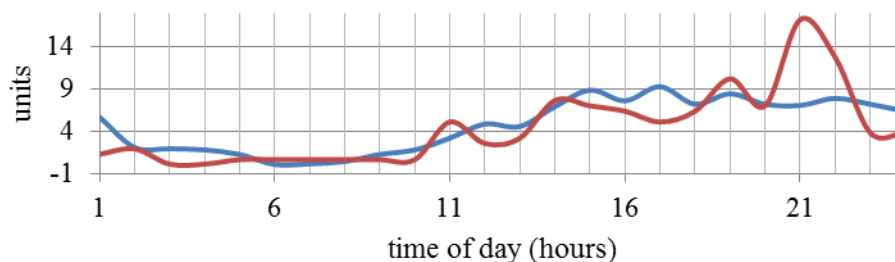


Fig. 2. Daily activity of first to third-year female students and fourth to sixth-year female students in distance learning: — senior; — junior

The curve of the educational activity fluctuations in Figure 3 indicates that the senior male students mostly belong to arrhythmic and evening chronotypes. They demonstrated the inactivity in early morning hours, the eagerness to learn awakening around 10 am, leisurely work with breaks during the day, and going to bed around 11 pm. The junior male students were not synchronized to the day cycle, which was manifested by noticeable night activity and fluctuations in learning activity from 6 am midnight.

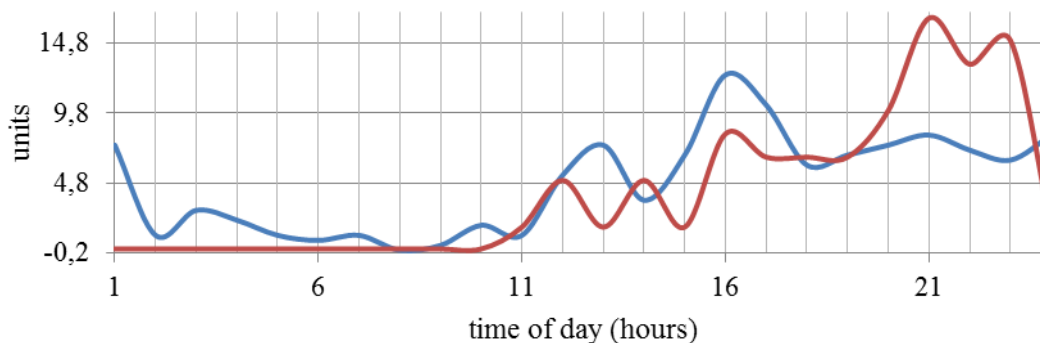


Fig. 3. Daily activity of first to third-year male students and fourth to sixth-year male students in distance learning: — senior; — junior

The wavelet analysis detected insignificant rhythmic fluctuations with a period of 5.4 hours ($p = 0.285$) for female students and 4.3 hours ($p = 0.182$) for male students. They occurred in the evening hours during the period of high performance.

Discussion

The ability to maintain physical and mental performance is especially relevant during the period of high information load on students. The typical performance curve (Fig. 4) implies the lowest activity around 3–4 am [8]; the performance progressively increases reaching a maximum at 11 am and is followed by a noon abatement; another rise in activity happens around 8–9 pm followed by a night decline.

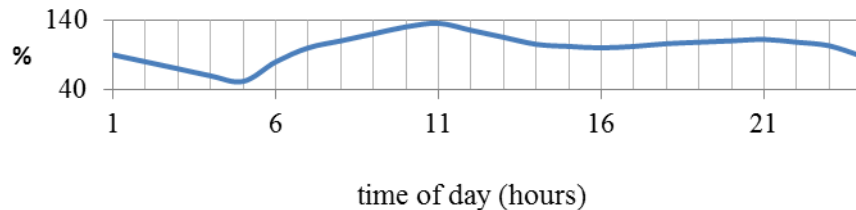


Fig. 4. Daily fluctuations in performance according to Lifanov [8]

The obtained performance curves partially agree with Glybin's [3] hypothesis (Fig. 5), according to which the human performance rhythm is determined by a single wave process with five physiological rises (5 am, 11 am, 4 pm, 8 pm, and 12 am) and the equal number of recessions (2 am, 9 am, 2 pm, 6 pm, 10 pm hours). The wavelet analysis in this study also indicated the presence of intraday cyclicity with a period of four to six hours.

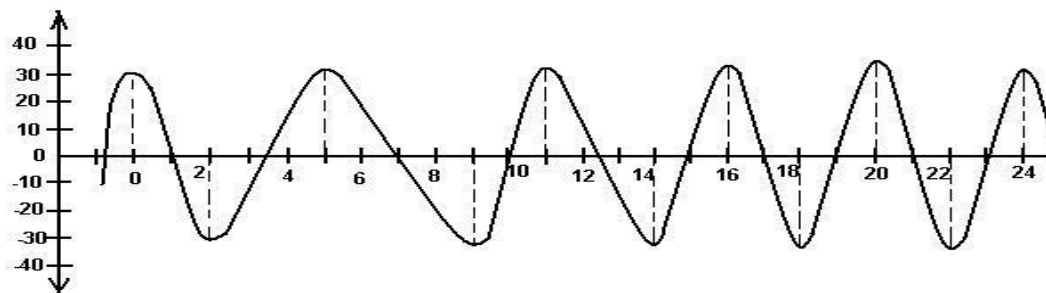


Fig. 5. Daily physiological performance rhythms [3]

In the absence of social regulation, the daytime and nighttime activity of students corresponded to the distribution of chronotypes that typifies a northern region, with arrhythmic and evening types prevailing but the morning biorhythmic stereotype having a minimal representation.

Conclusion

To summarize, with no 'master timer' in distance learning, students demonstrated pronounced sex differences in the daily dynamics of performance. Young females had maximum performance during the day and minimum performance at night, which corresponds to the most common type. Young males were observed to have several ascents in their performance during the 24-hour period. First-year and second-year students' learning behavior was less synchronized with the day-night cycle. The distribution of activity corresponds to the arrhythmic and evening chronotypes. The wavelet analysis found insignificant four to five hour rhythmic fluctuations that occurred in the evening hours, during the period of students' high educational performance.

REFERENCES

1. Asilderova, M. M., Agaragimova, V. K., Gasanguseynova, P. A., & Gasanova, B. M. (2016). Psychological indicators of adaptation of first-year students to training conditions in a higher education institution. *The world of science, culture and education*, 3(58), 74-76. (In Russian).
2. Vishnevsky, K. S. (2014). *Fiziologiya trudovykh protsessov*. Moscow. (In Russian).
3. Glybin, L. Ya. (1987). *Vnutrisutochnaya tsiklichnost' proyavleniya nekotorykh zabolevaniy*. Vladivostok. (In Russian).
4. Denisova, T. L. (2013). Pedagogical support of distance training of university students. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*, (1), 173-177. (In Russian).

5. Kozlov, D. V., & Ponomarev, V. V. (2006). Integrativnye formy povysheniya dvigatel'noi aktivnosti studentov v protsesse fizicheskogo vospitaniya v vuze. *Vestnik KGU. Gumanitarnye nauki*, (6(2)), 154-159. (In Russian).
6. Kravchenko, V. F., & Churikov, D. V. (2018). Tsifrovaya obrabotka signalov atomarnymi funktsiyami i veivletami. Moscow. (In Russian).
7. Kuznetsov, A. K. (2013). Dvigatel'naya aktivnost' studentov. In *Konstruirovaniye cheloveka: materialy XI Vseros. nauch.-prakt. konf.* Tomsk. 277-281. (In Russian).
8. Lifanov, E. V. (2006). Fiziologo-gigienicheskie aspekty trudovoi deyatel'nosti cheloveka. Volgograd.
9. Marchuk, N. Yu. (2013). Psychological and pedagogical peculiarities of distance education. *Pedagogical Education in Russia*, (4).78-85. (In Russian).
10. Molchanova, T. N., Gudkov, A. B., & Ragozin, O. N. (2009). Dynamics of some psychophysiological parameters discret constitutional types depending on the duration of adapting to the north. *Human ecology*, (5). 30-33. (In Russian).
11. Molchanova, T. N., & Ragozina, O. V. (2009). Occurrence discrete types of constitution in genetically untied populations living in northern region. *I.P. Pavlov Russian medical biological herald*, (1).18-26. (In Russian).
12. Ovcharov, A. V., & Moskalenko, E. V. (2017). The use of e-learning and distance learning technologies in higher educational institutions of the Altai Krai on the example of the Altai State Pedagogical University *The world of science, culture and education*, 4(65), 88-92. (In Russian).
13. Ragozin, O. N., Bochkarev, M. V., Kosarev, A. N., Kot, T. L., & Tatarintsev, P. B. (2014). Programma "Issledovanie biologicheskikh ritmov metodom veivlet-analiza". Sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM №2014611398, data registratsii 03.02 2014 g. (In Russian).
14. Sadvakassova, N. A. (2018). Problem of mental workability in children. *Scientific Review. Basic and applied research*, (3). (In Russian). <http://www.scientificreview.ru/ru/article/view?id=38>
15. Shalamova, E. Yu., Safonova, V. R., Bochkarev, M. V., & Kuz'menko, I. O. (2012). Effect of photoperiod on the performance of students - representatives of different chronotype. *RUDN Journal of Medicine*, (S7), 225-226. (In Russian).
16. Shemetova, E. G., & Malgin, E. L. (2017). Dynamics of students' performance capability in the learning process. *Philological Sciences. Issues of Theory and Practice*, 2(68). 215-218. (In Russian).

ЛИТЕРАТУРА

1. Асильдерова М. М., Агарагимова В. К., Гасангусейнова П. А., Гасанова Б. М. Психологические показатели адаптации студента-первокурсника к условиям обучения в вузе // Мир науки, культуры, образования. 2016. № 3(58) С. 74-76.
2. Вишневский К. С. Физиология трудовых процессов. М.: Владос, 2014. 321 с.
3. Глыбин Л. Я. Внутрисуточная цикличность проявления некоторых заболеваний. Владивосток, 1987.
4. Денисова Т. Л. Педагогическое сопровождение дистанционного обучения студентов вуза // Вестник Бурятского государственного университета. Педагогика. Филология. Философия. 2013. № 1. С. 173-177.
5. Козлов Д. В., Пономарев В. В. Интегративные формы повышения двигательной активности студентов в процессе физического воспитания в вузе // Вестник КГУ. Гуманитарные науки. 2006. №. 6(2). С. 154-159.
6. Кравченко В.Ф., Чуриков Д.В. Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами. Москва: Техносфера. 2018. 182 с.
7. Кузнецов А. К. Двигательная активность студентов // Конструирование человека: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. Томск: Изд-во ТГПУ. 2013. С. 277-281.
8. Лифанов Е. В. Физиолого-гигиенические аспекты трудовой деятельности человека. Волгоград, 2006. 85 с.
9. Марчук Н. Ю. Психолого-педагогические особенности дистанционного обучения // Педагогическое образование в России. 2013. № 4. С. 78-85.
10. Молчанова Т. Н., Гудков А. Б., Рагозин О. Н. Динамика некоторых психофизиологических параметров у представителей частных конституциональных типов в зависимости от длительности адаптации к условиям Севера // Экология человека. 2009. № 5. С. 30-33.
11. Молчанова Т. Н., Рагозина О. В. Встречаемость дискретных конституциональных типов в генетически несвязанных популяциях, проживающих в северном регионе // Российский медико-биологический вестник имени академика ИП Павлова. 2009. № 1. С. 18-26.
12. Овчаров А. В., Москаленко Е. В. Использование электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в высших учебных заведениях алтайского края на примере Алтайского государственного педагогического университета // Мир науки, культуры, образования. 2017. № 4 (65). С. 88-92.

13. Рагозин О. Н., Бочкарев М. В., Косарев А. Н., Кот Т. Л., Татаринцев П. Б. Программа «Исследование биологических ритмов методом вейвлет-анализа». Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014611398, дата регистрации 03.02 2014 г.

14. Садвакасова Н. А. Проблема умственной работоспособности у детей // Научное обозрение. Фундаментальные и прикладные исследования. 2018. № 3. <http://www.scientificreview.ru/ru/article/view?id=38>

15. Шаламова Е. Ю., Сафонова В. Р., Бочкарев М. В., Кузьменко И. О. Влияние продолжительности светового дня на работоспособность студенток – представительниц разных хронотипов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: медицина. 2012. № S7. С. 225–226.

16. Шеметова Е. Г., Мальгин Е. Л. Динамика работоспособности студентов вуза в процессе обучения // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. № 2(68). С. 215–218.

Ragozin O. N., Shalamova Ye. Yu., Ilyushchenko N. A., Ragozina O. V., Shevnin I. A., Surinov D. V. Sex and age characteristics of daily activity of distance learning students in northern climate // Вестник Нижневартговского государственного университета. 2020. № 2. С. 130–135. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/17>

Ragozin, O. N., Shalamova, Ye. Yu., Ilyushchenko, N. A., Ragozina, O. V., Shevnin, I. A., & Surinov, D. V. (2020). Sex and age characteristics of daily activity of distance learning students in northern climate. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 130–135. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/17>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю., Илющенко Н.А.,
Рагозина О.В., Шевнин И.А., Суринов Д.В.

Е. А. Романенко, Д. В. Московченко, А. А. Кудрявцев, Г. Н. Шигабаева

**ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ
НАДЫМ-ПУРОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ
(ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

E. A. Romanenko, D. V. Moskovchenko, A. A. Kudryavtsev, G. N. Shigabaeva

**MOBILE FORMS OF METALS IN SOILS IN THE NADYM-
PUR INTERFLUVE (WESTERN SIBERIA)**

Аннотация. В почвах Надым-Пуровского междуречья, на северном пределе таежной зоны, проведено изучение валового содержания металлов (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Sr) и количества их подвижных форм, извлекаемых ацетат-аммонийным буферным раствором (pH = 4,8). Определение содержания тяжелых металлов было проведено в 55 фоновых образцах почв и в 25 пирогенных. Валовое содержание определялось на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV» с помощью рентгенофлуоресцентного анализа. Подвижные формы металлов были определены на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA 700 пламенным и электротермическим методами. Статистические данные вычислены с использованием пакета программ Excel. В результате исследования подтверждено слабое накопление металлов в почвах северных районов Западной Сибири. Валовое содержание – ниже почвенного кларка для Fe в 5 раз, Mn – в 3 раза, Sr – в 2 раза, Cr – в 1,4 раза. Содержание подвижных форм варьирует в широких пределах в зависимости от количества органического вещества. Доля подвижных форм металлов от валового содержания составила: Cr – 0,84%, Fe – 1,2%, Sr – 3,8%, Mn – 8,7%, Ni – 15%. В профиле подзолов распределение подвижных форм металлов имеет элювиально-иллювиальный характер. В поверхностных органогенных горизонтах интенсивно накапливаются Mn и Sr, содержание Fe возрастает в горизонте BF. Минимальные значения отмечены в горизонте E. В пирогенных почвах происходит увеличение содержания подвижных форм металлов вследствие поступления золы. Содержание подвижных форм металлов в подавляющем большинстве случаев не превышает установленных ПДК.

Ключевые слова: Западная Сибирь; почвы; металлы; подвижные формы; подзолы.

Abstract. The total concentrations of metals (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Sr) and their mobile forms extracted by an ammonium acetate buffer (pH = 4,8) were studied in soils samples collected from Nadym-Pur interfluve (West Siberia), near the northern limit of the taiga zone. The heavy metal content was determined in 55 background soil samples and in 25 pyrogenic ones. Gross content was determined on a spectrometer "SPECTROSCAN MAX-GV" using x-ray fluorescence analysis. Mobile forms of metals were determined on a ContrAA 700 atomic absorption spectrometer by flame and electrothermal methods. The statistics are calculated using the Excel software package. The study confirmed the weak accumulation of metals in the soils of the northern regions of Western Siberia. The total content below the soil world average for Fe is 5 times, Mn – 3 times, Sr – 2 times, Cr – 1,4 times. The content of mobile forms varies widely depending on the amount of organic matter. The percentage of mobile forms of metals from the total content was: Cr – 0.84%, Fe – 1,2%, Sr – 3,8%, Mn – 8,7%, Ni – 15%. In the profile of podzols, the distribution of mobile forms of metals has an eluvial-illuvial character. Mn and Sr accumulate intensively in the surface organogenic horizons, and the Fe content increases in the BF horizon. Minimum values are marked in horizon E. In pyrogenic soils, there is an increase in the content of mobile forms of metals due to the intake of ash. Metal content usually not exceeded the maximal permissible concentrations for soils.

Key words: Western Siberia; soils; metals; mobile forms; podzols.

Сведения об авторах: Романенко Елизавета Ахмедовна, ORCID: 0000-0003-2964-1226, Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия, leta-92@list.ru; Московченко Дмитрий Валерьевич, ORCID: 0000-0001-6338-7669, д-р геогр. наук, Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, Россия, moskovchenko1965@gmail.com; Кудрявцев Александр Алексеевич, канд. физ.-мат. наук, государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия, kudrphys@mail.ru; Шигабаева Гульнара Нурчаллаевна, канд. техн. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, g.n.shigabaeva@utmn.ru.

About the authors: Romanenko Elizaveta Akhmedovna, ORCID: 0000-0003-2964-1226, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia, leta-92@list.ru; Moskovchenko Dmitry Valerievich, ORCID: 0000-0001-6338-7669, Dr. habil., Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia, moskovchenko1965@gmail.com; Kudryavtsev Alexander Alekseevich, Ph.D., Agrarian State University of Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, kudrphys@mail.ru; Shigabaeva Gulnara Nurchallaevna, Ph.D., Tyumen State University, Tyumen, Russia, g.n.shigabaeva@utmn.ru.

Введение

Обязательным условием сбалансированного природопользования в полярных и приполярных районах Западной Сибири является проведение импактного мониторинга природной среды. Одним из важнейших объектов мониторинга являются почвы, накапливающие поллютанты и являющиеся центральным звеном биогеохимического круговорота элементов. В предшествующих исследованиях российских и зарубежных ученых было выявлено, что на территории ЯНАО в ходе геологоразведочных работ, разработки месторождений углеводородов и иных полезных ископаемых в природную среду поступают тяжелые металлы [13; 18; 20; 25]. Даже при низкой концентрации тяжелых металлов в почвах вследствие интенсивной биогенной и водной миграции возможно превышение нормативов их содержания в живых организмах. К примеру, при низком уровне содержания ртути и кадмия в почвах ЯНАО отмечено накопление этих элементов в растениях и высокое содержание в органах и тканях северного оленя [1]. Обнаружено повышенное содержание ряда микроэлементов (Ag, Zn, Se Hg, Pb, V, Bi) в биосубстратах коренного населения ЯНАО [2].

Актуальность проблемы определила значительное число исследований биогеохимических свойств почв ЯНАО, проведенных в последние годы. В частности, определены главные закономерности содержания металлов и металлоидов в разных типах почв и почвенных горизонтах [13; 18; 20; 22]. Однако предметом указанных исследований являлась оценка валового содержания металлов, в то время как экологическая опасность проистекает, прежде всего, от их подвижных форм, которые способны переходить в растения, а из них – в животных и человека. Поэтому содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку. Содержание подвижных форм металлов также характеризует ряд почвенно-экологических условий. В частности, доказана зависимость подвижности металлов от увлажненности почвы [5]. Определение количества подвижных форм металлов в почвах является важной геоэкологической задачей, поскольку дает основу для корректного проведения эколого-геохимического мониторинга, обязательного на месторождениях углеводородов.

Цель данного исследования – выявить закономерности распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвах приполярных районов ЯНАО, включая фоновые ненарушенные почвы и их пирогенные модификации. В лесотундре и северной тайге Западной Сибири природные пожары являются одним из важнейших факторов преобразования экосистем. Современные климатические изменения и техногенное воздействие приводят к их учащению. Показано, что на Уренгойском месторождении четверть территорий подвергалась влиянию пожаров [12]. Учитывая широкое распространение гарей, исследование эколого-геохимического статуса почв на участках разработки месторождений углеводородов должно учитывать и влияние пожарного фактора.

Материалы и методы исследования

Отбор проб выполнен в летний период 2018 г. на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, на участке пос. Пангоды – пос. Правохеттинский и примерно в 40 км к югу от Надыма (рис. 1). Территория находится на северном пределе таежной зоны. Согласно почвенно-географическому районированию объекты исследований расположены на границе полярной и таежно-лесной почвенных областей [9]. В качестве литогенной основы ландшафта выступают аллювиально-морские отложения четвертой морской террасы (am^4_{III}), морские и ледово-морские отложения (m , gm_{II}) и плейстоцен-голоценовые отложения первой надпойменной террасы (a^1_{III-IV}) [3]. По гранулометрическому составу почвообразующие породы и почвы – песчаные и супесчаные. Растительный покров представлен редкостойными лиственничными и березово-лиственничными кустарничково-лишайниковыми лесами, олиготрофными ерниково-кустарничково-сфагновыми болотами. Крупные пожары на этой территории регистрировались в 2016 г.



Рис. 1. Район исследований (а) и участки опробования (б)

Наиболее широко изучены представленные в структуре почвенного покрова иллювиально-железистые подзолы (Albic Podzols согласно WRB), набор генетических горизонтов O-E-BF-BC-C. Почвы гарей были диагностированы как подзолы иллювиально-железистые пирогенные (Oao_{руг}-E-BF-BC-C). Также обследованы торфяные олиготрофные мерзлые почвы (Hemic Cryic Histosols) (O-TO-TTL). Отбор проб был проведен из генетических горизонтов в пределах сезонноталого слоя, мощность которого варьировала от 35 см в торфяных почвах до > 1 в подзолах.

В лабораторных условиях пробы почв были высушены, просеяны через сито с диаметром ячеек 1 мм для удаления корней растений. В отобранных образцах было определено валовое содержание металлов и количество подвижных форм. Для определения валового содержания элементов использовался рентгенофлуоресцентный анализатор «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV» (методика 242/18-2010). Стандартная навеска составляла 2 г. Анализ включал два параллельных определения в каждой пробе, после чего результаты проверялись на предмет расхождений с допусками ($P = 0,95$), рассчитанными для каждого элемента. Если результаты испытания были удовлетворительными, то в качестве результата измерения принималось среднее арифметическое. Репрезентативность обеспечивали калибровкой с помощью комплекта Государственных стандартных образцов состава почв. Анализ проведен в центре коллективного пользования Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пушкино).

Для определения подвижных форм металлов (Cr, Ni, Cu, Fe, Mn) использовали навеску массой 5 г, которую обрабатывали ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 по методике ЦИНАО (1992). Определение подвижных форм металлов осуществлялось в Институте химии Тюменского государственного университета на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA 700. Пламенным методом определены данные от десятитысячных долей процента до десятков массовых процентов; с помощью электротермического метода – от 10^{-6} – 10^{-4} % массовых процентов до диапазона пламенных определений. Всего было исследовано содержание металлов в 55 пробах фоновых почв и 25 – в их пирогенных модификациях. Также в почвах определены величина pH солевой вытяжки, зольность и содержание органического вещества по Тюрину.

При анализе результатов мы использовали методический прием деления почвенных горизонтов на органогенные (поверхностные) и минеральные (срединные), использованный в ряде работ, нацеленный на изучение закономерностей элементного состава почв полярных территорий [20]. Полученные результаты были сгруппированы в выборки по органогенным и минеральным горизонтам, фоновым и пирогенным почвам и подсчитаны статистические показатели – среднеарифметическое значение концентраций элементов (M), медианное значение (Me) и среднее квадратичное отклонение (SD). Вычисление проводилось с использованием пакета программ Excel. Экологическое состояние и биогеохимический статус почв оценивали путем сравнения с установленными ПДК (ГН 2.1.7.2041-06), пороговыми границами содержания элементов в почвах [11], почвенными кларками по А. Kabata-Pendias [26] и кларками земной коры [7]. Была вычислена доля подвижных форм металлов от валового содержания, проведено сопоставление с литературными данными о содержании подвижных форм металлов в почвах сопредельных регионов.

Результаты и обсуждение

Почвы имеют сильноокислую, реже кислую реакцию. Величина $pH_{\text{сол.}}$ изменяется в пределах 2,67–4,89. Наиболее кислыми являются поверхностные органогенные горизонты, в нижней части профиля величина pH увеличивается. Кислая реакция почв тундры и лесотундры Западной Сибири неоднократно отмечалась различными авторами [4; 13]. В условиях низких температур и избыточного увлажнения трансформация растительных остатков приводит к образованию подвижных органических кислот, которые способны глубоко проникать в минеральную толщу коры выветривания и почв [24]. Низкие значения pH вызваны малым количеством оснований в песчаных почвах и бедностью кальцием почвообразующих пород. Среднее содержание Са составило в обследованных почвах 0,31%, что более чем на порядок меньше кларка Са в верхней части земной коры, составляющего, по Н.А. Григорьеву (2009), 3,89% [7]. Важное следствие закисления – высокая подвижность большинства металлов в почвах.

Для обследованных почв характерно широкое варьирования показателей зольности и содержания гигровлаги, поскольку были опробованы различные генетические горизонты, как минеральные, так и органогенные. Содержание гигровлаги в органогенных горизонтах выше, чем в минеральных, и в большинстве разрезов падает с глубиной. Зольность срединных минеральных горизонтов низкая и в среднем составляет 2,2%, органогенных поверхностных горизонтов – 28%.

Результаты определения валового содержания и количества подвижных форм металлов в почвах, а также показатели pH , зольности и содержания гигровлаги представлены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические показатели физико-химических параметров и содержания металлов в почвах Надым-Пуровского междуречья

Показатели	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min–Max</i>	<i>Me</i>	ПДК* или кларк почв**
Зольность, %	13,1	18,8	0,5–86	3,8	–
Гигровлага, %	1,7	2,0	0,2–8,2	0,80	–
$pH_{\text{сол.}}$	3,67	0,63	2,67–4,89	3,64	–
$Si_{\text{подв.}}$, мг/кг	0,76	1,03	0,0–4,1	0,23	3,0*
$Fe_{\text{подв.}}$, мг/кг	118,2	199,1	4,8–1115	40,0	–
$Mn_{\text{подв.}}$, мг/кг	15,5	31,2	0,1–188,2	5,2	60*
$Ni_{\text{подв.}}$, мг/кг	1,26	1,01	0,0–4,2	1,17	4,0*
$Cr_{\text{подв.}}$, мг/кг	0,46	0,50	0,0–2,1	0,28	6,0*
$Sr_{\text{подв.}}$, мг/кг	4,52	5,68	0,0–29,9	2,88	–
$Fe_{\text{вал.}}$, мг/кг	8233	5532	2057–21115	7563	–
$Mn_{\text{вал.}}$, мг/кг	158,3	106,6	24,2–533,1	141,6	488**
$Ni_{\text{вал.}}$, мг/кг	5,99	4,74	0,0–18,3	5,24	29**
$Cr_{\text{вал.}}$, мг/кг	43,5	19,6	16,4–83,5	36,9	59,5**
$Sr_{\text{вал.}}$, мг/кг	89,2	41,0	19,8–161,5	83,4	175**

Примечание: содержание $Si_{\text{вал.}}$ было ниже порога обнаружения. Величина ПДК для подвижных форм (ГН 2.1.7.2041-06), кларка почв (Kabata-Pendias 2011) – для валового содержания.

Сопоставление валового содержания металлов в обследованных почвах с величиной кларка верхней части земной коры по Н.А. Григорьеву (2009), кларка почв по А. Кабата-Пендиас (2011) [7; 25] и с пороговыми величинами, лимитирующими благоприятные условия развития живых организмов по А. П. Ковальскому (1970) [11], показывает, что биогеохимическая ситуация характеризуется дефицитом железа и всех микроэлементов.

Согласно схеме биогеохимического районирования В.В. Ковальского (1970), территория севера Западной Сибири отнесена к таежно-лесной биогеохимической зоне, основными свойствами которой являются недостаток кальция, фосфора, калия, кобальта, меди, йода, молибдена, бора, цинка и избыток стронция. Полученные нами результаты подтверждают существенный дефицит меди, валовое содержание которой в обследованных пробах почв было ниже порога обнаружения. Содержание марганца в большинстве проб было ниже пороговой границы, составляющей 400 мг/кг [11].

Валовое содержание железа в обследованных фоновых почвах варьировало от 2057 до 21115 мг/кг (табл. 1). В соответствии с градацией почв по содержанию Fe [5] обследованные почвы относятся к категориям «умеренно низкой», «низкой» и «очень низкой» ожелезненности. Валовое

вое содержание микроэлементов ниже почвенного кларка для Ni – приблизительно в 5 раз, Mn – в 3 раза, Sr – в 2 раза, Cr – в 1,4 раза (табл. 1). По величине кларка концентрации (по отношению к кларку земной коры) элементы ранжируются следующим образом: Cr 0,47 > Sr 0,33 > Mn 0,21 > Fe 0,2 > Ni 0,12. Таким образом, для почв характерен отчетливо выраженный дефицит микроэлементов и железа. Низкое содержание микроэлементов, которые имеют кларки концентраций <1, является общим свойством коры выветривания и почв арктических районов. Концентрации элементов в обследованных почвах близки к региональным фоновым величинам содержания металлов в почвах Надым-Пур-Тазовского региона, приводимых в работе [20] (рис. 2). Только содержание Cr несколько выше приводимых в указанной работе значений. Полученные результаты подтверждают вывод, что почвы Надым-Пур-Тазовского региона характеризуются содержанием тяжелых металлов в 3–9 раз ниже величины кларка и значительным разбросом значений [14].

Для подвижных форм также характерен дефицит химических элементов. Среднее содержание $Mn_{\text{подв}}$ составило 15,5 мг/кг, что значительно меньше значений, приводимых в литературных источниках для сопредельных территорий. В почвах поймы Оби содержание $Mn_{\text{подв}}$ варьирует от 32,6 до 69,7 мг/кг [10], в почвах ХМАО среднее содержание $Mn_{\text{подв}}$ составляет 24,9 мг/кг в минеральных и 42,3 мг/кг в органогенных горизонтах [18]. Содержание $Cr_{\text{подв}}$ (0,46 мг/кг) в обследованных почвах меньше значений, типичных для почв ХМАО – Югры (0,62–0,66 мг/кг) [19]. Однако концентрации $Cu_{\text{подв}}$ и $Ni_{\text{подв}}$ выше, чем в почвах более южных районов. Так, среднее содержание подвижных форм меди в почвах Надым-Пуровского междуречья (0,76 мг/кг) больше, чем среднее значение содержания $Cu_{\text{подв}}$ в почвах ХМАО – Югры (0,44 мг/кг) [19].

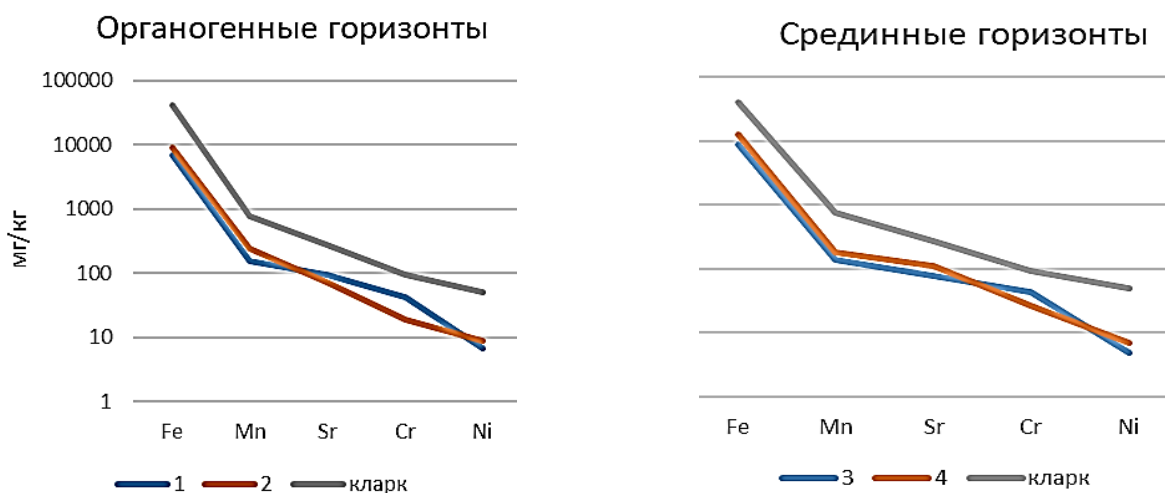


Рис. 2. Валовое содержание химических элементов в почвах Надым-Пуровского междуречья:
 1 – органогенные горизонты, наши данные; 2 – региональный фон металлов в органогенных горизонтах почв Надым-Пур-Тазовского региона (Опекунова и др. 2019); 3- срединные минеральные горизонты, наши данные; 4 - региональный фон в минеральных горизонтах; кларк по верхней части континентальной земной коры по Н.А. Григорьеву (2009)

Варьирование подвижных форм тяжелых металлов очень значительно, особенно для Fe и Mn (168–201%), и в меньшей степени для Ni (80%), что связано с неоднородностью литогенной основы, контрастным распределением органических веществ в разных типах почв и в разных генетических горизонтах, разными физико-химическими условиями. Значительное варьирование содержания подвижных форм металлов свойственно многим почвам. Так, коэффициенты вариации для подвижных форм Ni, Cu, Zn, Cd в пирогенных торфяных почвах достигали 100–200% [15].

Доля подвижных форм металлов от валового содержания варьировала в среднем от <1 до 15%. Наименьшая доля подвижных форм отмечена для хрома (0,84%). Далее, в порядке возрастания, следуют Fe (1,2%), Sr (3,8%), Mn (8,7%), Ni (15%). Согласно данным А.И. Сысо [22], доля металлов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором из почв юга Западной Сибири, составляет: для Cr – 0,3%, Ni – 1,2%, Mn – 12%, Cu – 0,3%. В почвах ХМАО – Югры варьирование содержания легкоподвижных форм от валового содержания, следующее [18]: Cr – 0,4–1,0%, Ni – 1–4%, Mn – 1,8–5,7%, Cu – 1–3%. В полученных нами результатах доля подвижных форм хрома совпадает с результатами для почв сопредельных регионов, но для Mn и Ni процентное отношение

доли подвижных форм существенно выше. Характерно, что повышенное количество подвижной формы Mn и Ni наблюдается при очень низком валовом содержании. Мы связываем это с высокой кислотностью обследованных почв, которая определяет повышенную подвижность металлов из-за разрушения силикатов, слабого закрепления Mn и Ni в составе гидроокислов железа. Поскольку почвы – преимущественно песчаные по гранулометрическому составу, не происходит связывание никеля иловатыми и пылеватыми частицами.

Содержание подвижных форм металлов зависит от типа почв, генетического горизонта, местоположения почвенного разреза, количества органического вещества, увлажнения и кислотности почв. Отчетливо выражены различия в физико-химических характеристиках органогенных и минеральных горизонтов. В органогенных горизонтах значительно выше содержание гигровлаги, зольности, меньше – величина pH, повышено содержание Mn и Sr (рис. 3). Содержание хрома, который слабо накапливается растениями, напротив, выше в минеральных горизонтах.

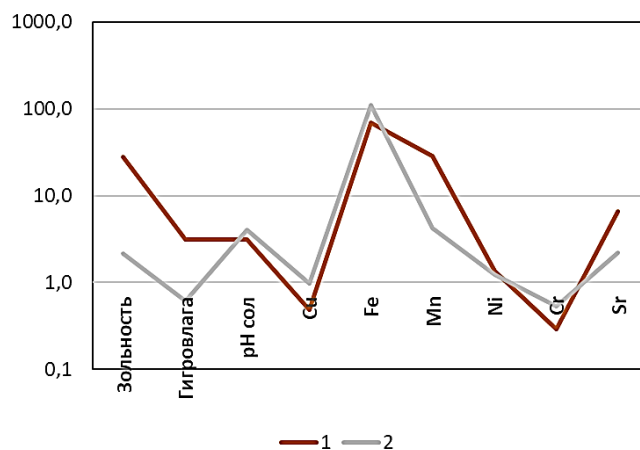


Рис. 3. Среднее содержание подвижной формы химических элементов и физико-химические параметры органогенных (1) и минеральных (2) горизонтов почв

Для Mn и Sr отмечена положительная корреляция с содержанием органического вещества и гигровлаги. При увеличении кислотности содержание Mn уменьшается, что говорит о выщелачивании этого элемента в кислой среде (табл. 2).

Распределение подвижных форм металлов в профиле подзолов обычно имеет элювиально-иллювиальный характер. Содержание Fe достигает максимальных значений в горизонте ВF, минимальные значения отмечены в горизонте E (рис. 4).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (ранговая корреляция Спирмена) между содержанием элементов и свойствами почв

Элемент	Содержание органического вещества	Количество гигровлаги	pH _{сол.}	Элемент	Содержание органического вещества	Количество гигровлаги	pH _{сол.}
Cu	–	–	–	Ni	–	–	–
Fe	–	–	–	Cr	–	–	–
Mn	0,64	0,56	–0,55	Sr	0,48	0,50	–

Содержание марганца максимально в поверхностных горизонтах, что соответствует высоким значениям коэффициентов биологического накопления этого элемента, составляющего, по В.В Добровольскому [8; 9], в среднем 6,86, а в тундровых кустарниках превышающих 10 [17]. Повышенное содержание Mn_{подв.} в органогенных горизонтах и крайне низкое в срединных минеральных соответствует общепринятым представлениям о ведущей роли Mn в биологическом поглощении растениями таежной зоны и его высокой подвижности в гумидных ландшафтах [21]. Сходное распределение отмечено для Cu (рис. 4). Предшествующие исследования не выявили значительных различий в распределении подвижной формы меди в органогенных и минеральных горизонтах почв ХМАО [19], аллювиальных почв Оби [10], торфяных и торфяных глеевых почв [15]. Отмеченные различия содержания Cu_{подв.} в обследованных нами почвах связаны с биологическим

накоплением меди тундровыми растениями, аккумуляцией в поверхностном горизонте и иллюви-рованием в составе металлоорганических комплексов.

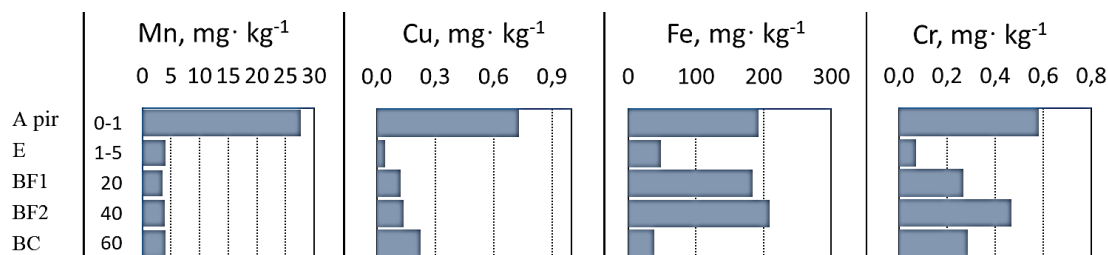


Рис. 4. Распределение элементов в генетических горизонтах пирогенного иллювиально-железистого подзола

Содержание подвижных форм металлов в подавляющем большинстве не превышает установленные ПДК. Превышение ПДК меди было дважды отмечено в одном почвенном разрезе, что связано с литогенным фактором, поскольку во всех горизонтах, включая BC и C, содержание $Cu_{\text{подв}}$ существенно превышает средние величины. Превышение ПДК марганца было зафиксировано дважды, причем оба случая отмечены в поверхностных горизонтах, что объясняется интенсивным биологическим накоплением этого элемента. Только в одной пробе было отмечено незначительное (в 1,1 раза) превышение ПДК никеля. Проба была отобрана в сосновом лишайниковом редкостойном лесу в 40 км южнее г. Надым на участке старого (≈ 50 лет) пожара из горизонта $A_{\text{руг}}$. Техногенные объекты – источники выбросов Ni – в ближайшем окружении отсутствуют. Другие пробы из этого участка также характеризуются повышенным содержанием Ni (1,54–3,2 мг/кг). Валовое содержание Ni в них невелико, однако реакция почвенных растворов сильноокислая ($pH = 2,9-3,1$), что дает основания для вывода об активном выщелачивании в сильноокислых условиях и последующем закреплении подвижных форм в составе металлоорганических комплексов.

Отдельного рассмотрения заслуживает влияние пирогенного фактора. Проведено сопоставление состава поверхностных (0–5 см) горизонтов подзолов на постпирогенных и контрольных участках. Результаты, представленные в таблице 3, показывают, что в пирогенных почвах снижается количество гигроулаги, уменьшается зольность, незначительно увеличивается pH за счет поступления золы. В то же время общее содержание органики снижается из-за выгорания углерода. Наблюдается рост содержания подвижной формы металлов (Fe, Cr, Mn Cu, Sr), что связано с поступлением золы, в которой происходит концентрирование элементов после выгорания органической составляющей. Исключением является Ni, содержание которого на участках недавних пожаров минимально и увеличивается по мере восстановления растительности.

Таблица 3

Зольность, pH и содержание подвижной формы металлов в пирогенных почвах

Давность пожара, годы	Зольность, %	pH _{сол.}	$Cu_{\text{подв}}$ мг/кг	$Fe_{\text{подв}}$ мг/кг	$Mn_{\text{подв}}$ мг/кг	$Ni_{\text{подв}}$ мг/кг	$Cr_{\text{подв}}$ мг/кг	$Sr_{\text{подв}}$ мг/кг
1–2	35,1	3,15	0,60	159,3	26,8	0,72	0,66	7,5
7–12	19,4	3,07	0,56	64,4	16,1	0,99	0,29	8,7
35 и более	22,0	2,97	0,13	34,2	15,9	3,02	0,02	2,3

Выводы

Полученные результаты подтверждают устоявшееся мнение о низком содержании микроэлементов и железа в почвах полярных и приполярных районов. Валовое содержание микроэлементов ниже кларка для Ni – в 5 раз, Mn – в 3 раза, Sr – в 2 раза, Cr – в 1,4 раз. Обеднение почв связано с активным выщелачиванием и выносом элементов в условиях кислой реакции среды.

Сравнение с приводимыми в литературе данными о содержании подвижных форм металлов в почвах сопредельных районов Западной Сибири показывает, что в Надым-Пуровском междуречье на песчаных породах почвы содержат меньше подвижных форм Mn и Cr, содержание Ni и Cu, напротив, повышено. Варьирование содержания подвижных форм тяжелых металлов значительно, особенно для Fe и Mn (168–201%), и в меньшей степени для Ni (80%), что связано с неоднородностью литогенной основы, контрастным распределением органических веществ в разных типах почв и в разных генетических горизонтах, разными физико-химическими условиями. В подзолах

максимальное содержание подвижных форм наблюдается в поверхностном органоминеральном горизонте, минимальное – в горизонте Е. В пирогенных почвах происходит увеличение содержания подвижных форм металлов вследствие поступления золы.

*Работа выполнена по программе исследований Тюменского научного центра СО РАН,
проект АААА-А17-1117050-4000146-5.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Агбалиян Е. В., Листищенко А. А. Накопление поллютантов (ртути и кадмия) в почве, растениях и организме животных // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017. № 3 (96), С. 4–10.
2. Агбалиян Е. В., Шинкарук Е. В., Попова Т. Л., Максименко Ю. И. Эколого-геохимическая ситуация на территории Ямало-Ненецкого автономного округа по материалам элементного анализа биологических сред (волосы) населения // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 2 (103), С. 34–40. <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.103.2.004>
3. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП Омская картографическая фабрика, 2004.
4. Васильевская В. Д., Иванов В. В., Богатырев Л. Г. Почвы севера Западной Сибири. М., 1986.
5. Водяницкий Ю. Н., Смагин А. В., Яковлев А. С. Факторы изменчивости содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве // Экологический вестник Северного Кавказа. 2016. Т. 12. № 1. С. 27–38.
6. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.
7. Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург, 2009. 383 с.
8. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003.
9. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М., 2004.
10. Изерская Л. А., Воробьева Т. Е. Формы соединений тяжелых металлов в аллювиальных почвах Средней Оби // Почвоведение. 2000. № 1. С. 56–62.
11. Ковальский В.В., Андрианова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970.
12. Корниенко С. Г. Оценка влияния разработки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на состояние территории лесотундры по данным ИСЗ Landsat // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 78–87.
13. Кукушкин С. Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: Дис. канд. геогр. наук. СПб. 2016.
14. Кукушкин С. Ю., Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Арестова И. Ю. Тяжелые металлы в почвах Надым-Пур-Тазовского региона // Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование. 2018. С. 258–262.
15. Липатов Д. Н., Щеглов А. И., Манахов Д. В., Брехов П. Т. Пространственная неоднородность свойств торфяных почв верховых болот в условиях локального пирогенеза на северо-востоке острова Сахалин // Почвоведение. 2016. № 2. С. 261–274. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16020076>
16. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992.
17. Московченко Д. В. Биогеохимические особенности ландшафтов полуострова Ямал и их оптимизация в связи с нефтегазодобычей: Автореф. дис. канд. геогр. наук. СПб. 1995.
18. Московченко Д. В. Экогеохимия нефтедобывающих районов Западной Сибири. Новосибирск: ГЕО, 2013.
19. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Фоновое содержание подвижных форм металлов в почвах севера Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 3(3), С. 163–174.
20. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422–439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>
21. Перельман А. И. Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999.
22. Томашунас В. М., Абакумов Е. В. Содержание тяжелых металлов в почвах полуострова Ямал и острова Белый // Гигиена и санитария. 2014. № 6. С. 26–31.
23. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
24. Таргульян В. О. Почвенно-геохимическое районирование холодно-влажных областей севера Евразии // Растительность лесотундры и пути ее освоения. Л.: Наука, 1967. С. 13–19.

25. Ji X., Abakumov E., Antcibor I., Tomashunas V., Knoblauch C., Zubzycki S., Pfeiffer E. M. Influence of Anthropogenic Activities on Metals in Arctic Permafrost: A Characterization of Benchmark Soils on the Yamal and Gydan Peninsulas in Russia //Archives of environmental contamination and toxicology. 2019. V. 76. № 4. P. 540–553. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00607-y>

26. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. By A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor, Francis Group. 2010. P. 548. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000743>

27. WRB I. Working Group.(2014). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy.

REFERENCES

1. Agbalyan, E. V., Listishenko, A. A. (2017). Accumulation of pollutants (mercury and cadmium) in soil, plants and animals. *Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous district*, 3(96), 4-10. (in Russian)

2. Agbalyan, E. V., Shinkaruk, E. V., Popova, T. L., & Maksimenko, Yu. I. (2019). Ecological and geochemical situation on the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous district based on the materials of elemental analysis of biological environments (hair) of the population. *Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous district*, 2(103), 34-40. (in Russian). <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.103.2.004>

3. Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga (2004). FGUP Omskaya kartograficheskaya fabrika. (in Russian).

4. Vasil'evskaya, V. D., Ivanov, V. V., & Bogatyrev, L. G. (1986). Pochvy severa Zapadnoi Sibiri. Moscow. (in Russian).

5. Vodyanitsky, Yu. N., Smagin, A. V., & Yakovlev, A. S. (2016). Variation factors of mobile forms of heavy metals in soil. *The North Caucasus Ecological Herald*, 12(1), 27-38. (in Russian).

6. GN 2.1.7.2041-06. (2006). Predel'no-dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy. Moscow. (in Russian).

7. Grigoriev, N. A. (2009). Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinental'noi kory. Ekaterinburg. (in Russian).

8. Dobrovolsky, G. V. (2003). Osnovy biogeokhimii. Moscow. (in Russian).

9. Dobrovolsky, G. V., & Urusevskaya, I. S. (2004). Geografiya pochv. Moscow. (in Russian).

10. Izerskaya L. A., Vorobyova T. E. (2000). Formy soedinenii tyazhelykh metallov v allyuvial'nykh pochvakh Srednei Obi. *Pochvovedenie*, (1). 56-62. (in Russian).

11. Kovalsky, V. V., & Andrianova, G. A. (1970). Mikroelementy v pochvakh SSSR. Moscow. (in Russian).

12. Kornienko, S. G. (2009). Estimation of Urengoy's Oil and Gas Deposit Mining Impact on a Condition of Forest Tundra Landscape Using Landsat Data. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics Earth Observation and Remote Sensing*, (4). 78–87. (in Russian).

13. Kukushkin, S. Yu. (2016). Indikatory antropogennoi nagruzki na prirodno-territorial'nye kompleksy pri osvoenii neftegazokondensatnykh mestorozhdenii severa Zapadnoi Sibiri: Dis. kand. geogr. nauk. St. Petersburg. (in Russian).

14. Kukushkin, S. Yu., Opekunova, M. G., Opekunov, A. Yu., & Arestova, I. Yu. (2018). Tyazhelye metally v pochvakh Nadym-Pur-Tazovskogo regiona. In *Pochvy i zemel'nye resursy: sovremennoe sostoyanie, problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya, geoinformatsionnoe kartografirovanie*, Minsk. 258-262. (in Russian).

15. Lipatov, D. N., Shcheglov, A. I., Manakhov, D. V., & Brekhov, P. T. (2016). Spatial Heterogeneity in the Properties of High-Moor Peat Soils under Local Pyrogenesis in Northeastern Sakhalin. *Eurasian Soil Science*, 49(2). 238-250. (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0032180X16020076>

16. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodii i produktsii rasteniyevodstva (1992). Moscow. (in Russian).

17. Moskovchenko, D. V. (1995). Biogeokhimicheskie osobennosti landshaftov poluostrova Yamal i ikh optimizatsiya v svyazi s neftegazodobychei: Avtoref. dis. kand. geogr. nauk. St. Petersburg. (in Russian).

18. Moskovchenko, D. V. (2013). Ekogeokhimiya neftedobyvayushchikh raionov Zapadnoi Sibiri. Novosibirsk. (in Russian).

19. Moskovchenko, D. V., & Babushkin, A. G. (2015). Background level of mobile forms of metals in soils of Northwest Siberia. *Bulletin of the Tyumen state University. Ecology and environmental management*, 1(3(3)), 163-174. (in Russian).

20. Opekunova, M. G., Opekunov, A. Y., Kukushkin, S. Y., & Ganul, A. G. (2019). Background Contents of Heavy Metals in Soils and Bottom Sediments in the North of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, 52(4). 380-395. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>

21. Perelman, A. I., & Kasimov, N. S. (1999). Geokhimiya landshafta. Moscow. (in Russian)

22. Tomashunas, V.M., & Abakumov, E. V.(2014). The content of heavy metals in soils of the Yamal peninsula and the Bely Island. *Hygiene and Sanitation, Russian JournalL*, (6), 26-31. (in Russian)

23. Syso, A. I. (2007). Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoi Sibiri. Novosibirsk. (in Russian).
24. Targulyan, V. O. (1967). Pochvenno-geokhimicheskoe raionirovanie kholodno-vlazhnykh oblastei severa Evrazii. In *Rastitel'nost' lesotundry i puti ee osvoeniya*, Leningrad. 13-19. (in Russian).
25. Ji, X., Abakumov, E., Antcibor, I., Tomashunas, V., Knoblauch, C., Zubzycki, S., & Pfeiffer, E. M. (2019). Influence of Anthropogenic Activities on Metals in Arctic Permafrost: A Characterization of Benchmark Soils on the Yamal and Gydan Peninsulas in Russia. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 76(4), 540-553. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00607-y>
26. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. By A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group (2010). 548. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000743>
27. WRB, I. Working Group. (2014). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy.

Романенко Е. А., Московченко Д. В., Кудрявцев А. А., Шигабаева Г. Н. Подвижные формы металлов в почвах Надым-Пуровского междуречья (Западная Сибирь) // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 2. С. 136–145. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/18>

Romanenko, E. A., Moskovchenko, D. V., Kudryavtsev, A. A., & Shigabaeva, G. N. (2020). Mobile forms of metals in soils in the Nadym-Pur interfluve (Western Siberia). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 136–145. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/18>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Романенко Е.А., Московченко Д.В., Кудрявцев А.А., Шигабаева Г.Н.

T. V. Storchak, I. N. Didenko, N. A. Didenko

MONITORING OF NATURAL COMPLEXES WHILE DEVELOPING AND OPERATING THE FIELDS OF TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE

Т. В. Сторчак, И. Н. Диденко, Н. А. Диденко

МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Abstract. Landscape monitoring is organized to monitor the state of natural complexes and their transformation. Monitoring of landscapes should ensure the identification of anthropogenic load, the dynamics of areas of anthropogenic impact, the degree of degradation of natural complexes. The Timan-Pechora oil and gas province is located on the territory of the Republic of Komi, the Nenets Autonomous Okrug and the adjacent water area of the Pechora Sea. The area of the province is 600 thousand km². Currently, the development and extraction of mineral resources, mainly oil and gas, is actively underway in the territory under consideration. This is a complex process that requires the collaboration of many specialists, including ecologists. In the Bol'shezemel'skaya Tundra, the dominant part of tundra landscapes are extremely sensitive to anthropogenic influence and the unorganized use of the available space will soon lead to the complete loss of their own functions, and their restoration will take a huge amount of time. In this paper, a basic field study method was chosen as the main method to study the landscape. Thanks to route observations, a complex landscape characteristic of the territory was compiled.

Key words: man-made landscapes; landscape complexes; landscape monitoring.

Аннотация. Мониторинг ландшафтов организуется для наблюдения за состоянием природных комплексов и их трансформацией. Проведение мониторинга ландшафтов должно обеспечивать выявление антропогенной нагрузки, динамики площадей антропогенного воздействия, степени деградации природных комплексов. Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция расположена на территории Республики Коми, Ненецкого автономного округа и прилегающей акватории Печорского моря. Площадь провинции составляет 600 тыс. км². В настоящее время на рассматриваемой территории активно ведется освоение и добыча полезных ископаемых, главным образом нефти и газа. Это сложный процесс, который требует совместной работы многих специалистов, в том числе экологов. В Большеземельской тундре преобладают крайне чувствительные к антропогенному влиянию тундровые ландшафты, и неорганизованное использование имеющегося пространства в скором времени приведет к полной утрате их собственных функций, на восстановление которых потребуется огромное количество времени. В качестве основного метода исследования ландшафта в данной работе выбран базовый метод изучения в полевых условиях. Благодаря маршрутным наблюдениям была составлена комплексная ландшафтная характеристика территории.

Ключевые слова: антропогенные ландшафты; ландшафтные комплексы; ландшафтный мониторинг.

About the authors: Storchak Tatyana Viktorovna, SPIN-code: ORCID: 0000-0002-5926-433 X, 4454-0699, Ph.D, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, tatyastorchak@yandex.ru; Didenko Ivan Nikolaevich, ORCID: 0000-0001-7846-6167, SPIN-code: 1986-7957, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, vandidi@yandex.ru; Didenko Nadezhda Alekseevna, ORCID: 0000-0002-0206-437X, SPIN-code: 9525-0364, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, didenkona@yandex.ru.

Сведения об авторах: Сторчак Татьяна Викторовна, ORCID: 0000-0002-5926-433X, SPIN-код: 4454-0699, канд. биол. наук, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, tatyastorchak@yandex.ru; Диденко Иван Николаевич, ORCID: 0000-0001-7846-6167, SPIN-код: 1986-7957, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, vandidi@yandex.ru; Диденко Надежда Алексеевна, ORCID: 0000-0002-0206-437X, SPIN-код: 9525-0364, Нижневартковский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, didenkona@yandex.ru.

Introduction

Landscape monitoring is an important part of environmental monitoring and is organized to monitor the state of natural complexes and their transformation. Landscape monitoring should ensure the iden-

tification of anthropogenic load, the dynamics of areas of anthropogenic impact, the degree of degradation of natural complexes [5; 7].

The tundra zone occupies one-fifth of Russia. Tundra landscapes stretch along the northern strip of the mainland. Currently the northern territories of the Russian Federation are being actively developed by man. Economic activity is associated with geological exploration and development of hydrocarbon deposits. One of the major centers of oil and gas accumulation is the Timan-Pechora oil and gas province, which is located on the territory of the Komi Republic, the Nenets Autonomous Okrug and the adjacent water area of the Pechora Sea. In 2019 a total area of 215 100 hectares, which is located within Bolshezemelskaya tundra in the north-eastern part of Khoreyverskaya depression, has been studied and according to botanical-geographical zoning of the Arctic belongs to the strip of the middle (typical) tundra Eastern European Subprovince East-West Siberian province. Active exploration of hydrocarbon deposits in the territory dated from the end of the XX century to the beginning of the XXI century; however, the landscape-ecological study of the area is extremely insufficient. For landscape assessments, they rely on the experience of similar studies of zones with similar climatic conditions, mainly the Yamal Peninsula and Canada [1; 2; 3; 9].

Material and research methods

The field study was carried out in two stages. The first was to identify landscape - forming processes developed in the study area, according to literary and stock sources. In the field study, it was performed the machine situational modeling and the actual measurement and observation [9].

Most of the landscapes of the study area are at the different stages of self-restoration (naturally or after remediation activities). The total area of disturbed landscapes is 28% of the total study area. This indicator is the result of the active development of the Timan-Pechora oil and gas province. The largest area of the oil infrastructure is occupied by processing areas – 11%, landscapes within this territory are degraded. Corridors of communications (including corridors of electric power transmission lines and underground pipelines) occupy an area of 5%, degradation of landscapes with natural self-restoration processes is observed; complex roadside disturbances (flooding) cover an area of 1%, this type of disturbed landscape is being degraded; coated roads (filling) occupy an area of 2%, degradation of landscapes with natural self-restoration processes is observed; clearing for temporary roads (winter roads) occupies an area of 6% – landscapes are being restored; peat and sand exploited and reclaimed quarries occupy an area of 2%, degradation of landscapes with natural processes of self-restoration is observed; complex bite disturbances occupy an area of 1% – landscapes are being restored [4; 6].

Results and discussion

There are 16 major groups of landscape complexes on the study area, which are characterized by an overall orientation of processes of development: hilly steeply-slope, lake-hilly, watershed-slope, flat steeply-slope, flat, lakeside terraced, laida, flat hilly bogs, polygonal bogs, lowland and mesotrophic bogs, khasyrey, valley-slope, delta, floodplain, valley, hollow [1].

To date, the landscapes of the Bolshezemelskaya tundra undergo the greatest anthropogenic transformation as a result of economic activities aimed at the extraction of hydrocarbon raw materials. Anthropogenic transformations that have arisen under the influence of traditional types of economic activity for this region (deer farming) are insignificant. Landscapes are exposed to anthropogenic pressures as a result of geophysical and geological exploration, construction and operation of areal objects (well clusters, main transfer pumping station, booster pipeline pumping station (BPPS), etc.), as well as linear objects (roads, winter roads, pipelines, power lines) [9].

The emergence of industrial geotechnical systems is associated with the almost complete transformation of all landscape components. The components of the geotechnical system are made of materials created in the process of technological production. The functioning of the geotechnical system depends on the production cycles established by man. The restoration of such complexes is possible provided that the structures are completely dismantled and deep remediation measures are carried out [2; 5].

In anthropogenic systems, the transformed components self-restore and subsequently function according to natural laws. During remediation work, the disturbed landscapes also return to an approximate natural state.

On the territory of the Timan-Pechora oil and gas province, the geotechnical system formed as a result of oil fields development and operation, with a predominance of natural complexes degradation processes includes:

1. Oilfield geocomplexes – technological platforms of existing facilities (field bases, BPPS, flare devices, well clusters, etc.);
2. Linear transport – sprinkled roadbed and/or paved roadway;
3. Quarry – developed deposits of common minerals.

In the industrial anthropogenic class of landscapes, with the predominance of the processes of restoration of natural complexes, the following are distinguished:

1. Oilfield anthropogenic landscapes – remediated oil-contaminated lands; exploratory wells with complex disturbances, etc.;
2. The linear oilfield type of anthropogenic landscapes represented by complex roadside disturbances, clearing for temporary roads (winter roads), electric power transmission lines, pipelines with underground laying, etc., including land transformed as a result of the construction of linear structures (flooding, etc.);
3. A quarry type of anthropogenic landscapes with remediated quarries.

All objects of field development are rather complicated technical structures with their design features, technological mode of operation, and associated technogenic flows, which differ in composition and dynamics of the release of pollutants into the natural environment. The individual contribution of objects to environmental pollution varies and depends on the operating mode (technological or emergency), the composition of pollutants, as well as the morphological and geochemical structure of the original landscapes. Technogenic disturbances, even of the same type inherently, can subsequently cause uneven secondary disturbances of natural systems, depending on the type of landscape complex that places them into. The transformation of the natural environment already begins during the search and exploration of the field and continues at each stage of its development and operation [10].

The formation of most exogenous geological processes occurring in the study area is significantly affected by permafrost, which has a massive occurrence here.

Most often in the tundra zone, frost mount hillbocks occur at the freezing place of overmoistened rocks, which contributes to an increase in their volume due to the formation of ice. On average, frost mount hillbocks are 1-2 meters high, although at times they can reach 30-40 meters (hydrolaccolithes). They are characterized by flat peaks, broken by frost cracks. Their life span is from several months to several years [2].

Khasyrey (drained lake) (Yakut-Alases) is a slightly sloped and flat-bottomed oval-shaped hollow, with a diameter of several kilometers and a depth of 30 meters. They are formed during the thawing of underground ice, soil shrinkage, etc. Their lowlands are usually covered with swampy lakes, and the slopes are meadow-steppe communities [3].

The main exogenous geological and cryogenic processes in the study area are cryogenic sliding landslides and currents, slow solifluction, seasonal and perennial rock heaving, polygonal relief forms, and related processes of thermokarst, channel processes along the banks of small and medium rivers, deflation, and cryoturbation (spot medallions). Attention is paid to the formation of a structural (block) relief, which is widely developed on mineral soils by soil veins, resulting from nivation and slow solifluction.

One of the most widely developed processes in the area of work is polygonal rock shattering and associated landforms. The transformation of polygonal surfaces occurs in various ways depending on lithological, geocryological, geomorphological, zonal, and regional conditions. Varieties of the transformation of polygonal surfaces are structural soils, erosion-thermokarst forms, thermo-erosional and thermoabrasional formations. Depending on the composition of soils, the intensity of the processes is different.

With an increase in the surface slope, the rate of formation of structural relief forms changes. With sufficient drainage, surface slope, and the presence of an erosion basis, thermo-erosional gullies are formed. On the banks of rivers and lakes, when the banks are washed away, thermo-erosion and thermal denudation form an ordered relief pattern [8].

On the flat hill crests, there are polygons of considerable size (150–200 m). In the lowlands and depressions that divide watershed hills and ridges, block relief is usually very pronounced. Mounds with flat and gently convex peaks, with rather steep slopes, 1.5–4 m high and 40–150 m in diameter, are separated by wide, often boggy, or overgrown with dense willow interblocks. The width of the interblocks is 60-80 m. At the junction of several interblocks, several deepened basins are formed, often occupied by

lakes. Large blocks and interblocks are well distinguished in the area by the nature of the vegetation and are well identifiable in aerial photographs. They, in turn, are divided into polygons measuring across the order of 10–15 m with a regular network of very narrow, barely noticeable depressions. In most cases, especially on drier surfaces, the micropolygonal structure of large blocks is not morphologically expressed [5; 9].

Flat watershed spaces composed of the surface by cover loams or sandy loams can be ordered into several geomorphological forms. Most often, these are uniformly distributed round or oval shapes.

On the slopes, there is a significant development of interblock depressions by slope processes, such as erosion, solifluction, with the participation of thermokarst and nivation. Under conditions of good humidification and deep snow accumulation, depressions overgrow with high, dense willow. The length of the runoff hollows reaches 3 km, the width is up to 0.5 km.

On steep banks of rivers and lakes, coastal, channel, and accompanying slope and cryogenic processes often occur. Channel processes are manifested in channel deformations with erosion of coasts composed of sand and sandy loam rocks. River bottoms are often composed of coarse clastic material and pebbles. Depending on the geomorphological and geological conditions, channel processes on the banks of small rivers have different activities. At a high geomorphological level, exorheic (open) and drainage lakes, between which flow, are widespread. The activity of channel processes depends on the basis of erosion between the lakes. The stock is as regulated as possible [8].

Thermokarst in the area of work is developed for various types of ice. Currently, there is an active thawing of ice-wedge casts, which is part of polygonal peatlands. On ice-wedge casts, subsidence relief forms are formed along polygons. Inside the polygons, with a large ice content of the rocks, thermokarst subsidence along segregation ice also forms [10].

Polygonal landforms are one of the most common in the study area. The thickness of the peat layer in peatlands reaches 2–3 meters, which reliably preserves permafrost from the warming influence of the climate. During thermal abrasion, peatlands on the shores of thermokarst lakes are actively destroyed and form outcrops with the structure of peat deposits visible in the section.

Under conditions of climate warming, the development of the polygonal network does not occur on most peatlands. Ice-wedge casts are in a degradation stage.

Perennial and seasonal frost mount hillbocks are typical for the study area. Perennial frost mount hillbocks are formed during the influx of moisture on bogs and on the bottoms of boggy valleys. The diameter of the examined perennial heights of frost mount hillbocks is 5–10 m, they do not exceed 1 m in height.

Seasonal frost mount hillbocks are observed on moistened and boggy surfaces composed of dusty, heaving sandy loams and loams. The diameter of seasonal frost mount hillbocks is 0.3–1.2 m, and a height of 0.5–0.7 m.

Conclusion

Thus, the study of the given territory will predict and avoid the adverse effects of man-made disasters on the identical physical-geographical conditions of the area that are exposed to oil and gas industry. Working in this direction will allow the process to properly plan an economic activity to natural landscapes not become unsuitable for any activity.

REFERENCES

1. Gubaidullin, M. G., Korobov, S. V., Zatul'skaya, T. Yu., & Ruzhnikov, A. G. (2005). Informatsionno-komp'yuternaya sistema ekologicheskoi otsenki geologicheskoi sredy pri osvoenii neftyanykh mestorozhdenii severa Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provintsii. *Arctic Environmental Research*, (2), 4-11. (in Russian)
2. Korobov, V. B. (2006). Geographical Basis of Transport Infrastructure of Timan-Pechora Oil and Gas Containing Province. *Regional Research of Russia*, (4), 87-98. (in Russian)
3. Galkina, M. V., & Yunusova, L. V. (2017). Control of gas-condensate characteristics for Timan-Pechora Province fields being at late stage of reservoir development. *Vesti gazovoi nauki*, (2 (30)). 203-207. (in Russian)
4. Hale, S. E., Škulcová, L., Pípal, M., Cornelissen, G., Oen, A. M., Eek, E., & Bielská, L. (2019). Monitoring wastewater discharge from the oil and gas industry using passive sampling and *Danio rerio* bioassay as complementary tools. *Chemosphere*, 216, 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.162>
5. Mueller, L., Eulenstein, F., Mirschel, W., Antrop, M., Jones, M., McKenzie, B. M., ... & Gerasimova, M. (2019). Landscapes, Their Exploration and Utilisation: Status and Trends of Landscape Research. In *Current Trends in Landscape Research* (pp. 105-164). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2_5

6. O'Neill, R. V., Jones, K. B., Riitters, K. H., Wickham, J. D., & Goodman, I. A. (1994). Landscape monitoring and assessment research plan. *Environmental Protection Agency, US EPA*, 620. <http://hdl.handle.net/1969.3/27769>
7. Piorr, H. P. (2003). Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3), 17-33. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00069-0)
8. Reshnyak, V. I., Sokolov, S. S., Chernyi, S. G., Storchak, T. V., & Tihomirov, Y. N. (2017). System aspect course of creation of information and analytical system of environmental monitoring and control. In *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 87(4), 042017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/4/042017>
9. Skorobogatova, O. N., Yumagulova, E. R., Storchak, T. V., & Ivanova, N. A. (2019). Phytoplankton of surface waters under oil pollution (Samotlor field, Western Siberia). *Periodico Tche Quimica*, 16(32), 306-320.
10. Tarolli, P., Rizzo, D., & Brancucci, G. (2019). Terraced Landscapes: Land Abandonment, Soil Degradation, and Suitable Management. In *World Terraced Landscapes: History, Environment, Quality of Life* (pp. 195-210). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96815-5_12

ЛИТЕРАТУРА

1. Губайдуллин М. Г., Коробов С. В., Затульская Т. Ю., Ружников А. Г. Информационно-компьютерная система экологической оценки геологической среды при освоении нефтяных месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // *Arctic Environmental Research*. 2005. № 2. С. 4–11.
2. Коробов В. Б. Географическое обоснование создания транспортной инфраструктуры Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2006. № 4. С. 87–98.
3. Галкина М. В., Юнусова Л. В. Контроль газоконденсатной характеристики на поздней стадии разработки месторождений Тимано-Печорской провинции // *Вести газовой науки*. 2017. № 2 (30). С. 203–207.
4. Hale S. E., Škulcová L., Pípal M., Cornelissen G., Oen A. M., Eek E., Bielská L. Monitoring wastewater discharge from the oil and gas industry using passive sampling and *Danio rerio* bioassay as complimentary tools // *Chemosphere*. 2019. V. 216. P. 404–412. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.162>
5. Mueller L., Eulenstein F., Mirschel W., Antrop M., Jones M., McKenzie B. M., Gerasimova M. Landscapes, Their Exploration and Utilisation: Status and Trends of Landscape Research // *Current Trends in Landscape Research*. Springer, Cham, 2019. P. 105–164. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2_5
6. O'Neill R. V., Jones K. B., Riitters K. H., Wickham J. D., Goodman I. A. Landscape monitoring and assessment research plan // *Environmental Protection Agency, US EPA*. 1994. V. 620. <http://hdl.handle.net/1969.3/27769>
7. Piorr H. P. Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2003. V. 98. № 1-3. P. 17–33. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00069-0)
8. Reshnyak V. I., Sokolov S. S., Chernyi S. G., Storchak T. V., Tihomirov Y. N. System aspect course of creation of information and analytical system of environmental monitoring and control // *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*. IOP Publishing, 2017. V. 87. № 4. P. 042017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/4/042017>
9. Skorobogatova O. N., Yumagulova E. R., Storchak T. V., Ivanova N. A. Phytoplankton of surface waters under oil pollution (Samotlor field, Western Siberia) // *Periodico Tche Quimica*. 2019. V. 16. № 32. P. 306–320.
10. Tarolli P., Rizzo D., Brancucci G. Terraced Landscapes: Land Abandonment, Soil Degradation, and Suitable Management // *World Terraced Landscapes: History, Environment, Quality of Life*. Springer, Cham, 2019. P. 195–210. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96815-5_12

Storchak T. V., Didenko I. N., Didenko N. A. Monitoring of natural complexes while developing and operating the fields of Timan-Pechora oil and gas province // *Вестник Нижневартковского государственного университета*. 2020. № 2. С. 146–150. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/19>

Storchak, T. V., Didenko, I. N., & Didenko, N. A. (2020). Monitoring of natural complexes while developing and operating the fields of Timan-Pechora oil and gas province. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 146–150. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/19>

дата поступления: 03 февраля 2020 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Сторчак Т.В., Диденко И.Н., Диденко Н.А.

Т. Г. Акатьева

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В С. АРМИЗОНСКОЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ

T. G. Akatyeva

BIOINDICATOR ASSESSMENT OF AIR QUALITY IN ARMIZONSKOYE VILLAGE, TYUMEN REGION

Аннотация. По сведениям центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в атмосферный воздух с. Армизонское Тюменской области всеми предприятиями выбрасывается более 230 т различных веществ, из них улавливается лишь около 50% общего объема. Цель исследований: изучение качества атмосферного воздуха в с. Армизонское методом биоиндикации. Для этого были поставлены следующие задачи: выявить приоритетные загрязняющие вещества, поступающие в атмосферный воздух от некоторых предприятий с. Армизонское; оценить качество атмосферного воздуха по реакции организмов – биоиндикаторов; определить наиболее чувствительные тест – функции у древесных и травянистых растений. Оценку качества атмосферного воздуха проводили с использованием химического метода, определяя компонентный и количественный состав загрязняющих веществ в выбросах некоторых предприятий, расположенных в разных районах села. Наряду с этим применяли метод биоиндикации. В качестве биотестов использовали травянистые растения (одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* Wigg и подорожник большой *Plantago major* L.) и древесные культуры (береза бородавчатая *Betula pendula* Roth и клен американский *Aceraceae nequndo*). Результаты химического анализа показали, что в атмосферный воздух села Армизонское преимущественно поступают оксид железа, соединения марганца, взвешенные вещества. К предприятиям, наиболее загрязняющим атмосферный воздух, относятся: ЖКХ, «Армизонагрострой», ДРСУ. Наибольшую чувствительность к загрязнению атмосферного воздуха среди древесных культур проявил клен американский; у травянистых растений – одуванчик лекарственный. По результатам биоиндикации атмосферного воздуха определены наиболее и менее загрязненные территории: ХПП и ЖКХ соответственно.

Ключевые слова: биоиндикация; травянистые растения; древесные культуры; тест-параметры; чувствительность.

Сведения об авторах: Акатьева Татьяна Григорьевна, SPIN-код: 1852-0596, канд. биол. наук, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия, akatyevat@mail.ru.

About the author: Akateva Tatyana Grigorievna, SPIN-code: 1852-0596, Ph.D., State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, akatyevat@mail.ru.

Введение

В настоящее время из всех форм нарушенности природной среды России наиболее опасным остается загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами, оказывающими как негативное влияние на здоровье людей, так и отрицательное воздействие на животных, состояние растений и экосистем в целом.

Загрязнение атмосферного воздуха, изменение его газового состава связаны, главным образом, с различными видами хозяйственной деятельности человека [7], поскольку бурный рост объемов выпуска продукции сопровождается появлением многих новых предприятий, крупномас-

штабных производств – источников загрязнения атмосферы в суммарно увеличивающихся количествах [1, с. 3–6]. Важными факторами при этом являются урбанизированность и промышленное развитие территории (специфика предприятий, их мощность, размещение, применяемые технологии), а также климатические условия, которые определяют потенциал загрязнения атмосферы.

Основные источники поступления загрязняющих веществ – это сжигание ископаемого топлива, выжигание лесов и выбросы промышленных предприятий. При использовании аэрозолей в атмосферу поступают хлорфторуглероды, в результате работы транспорта – углеводороды, бенз(а)пирен и др.) [11].

Современные технические средства контроля состояния окружающей среды, разработанные в первую очередь для оценки степени загрязненности в промышленных условиях, – не единственные способы определения состояния природной среды. Биоиндикация в этом плане является оптимальным и активно развивающимся методом ее оценки. Биологические методы помогают диагностировать негативные изменения в природной среде при низких концентрациях загрязняющих веществ. Преимуществом методов биоиндикации является интегральный характер ответных реакций живых организмов, так как они суммируют все без исключения биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом, выявляют наличие в окружающей природной среде комплекса загрязнителей [5].

Материал и методы исследования

Армизонский район расположен в юго-восточной части Тюменской области на расстоянии 230 км от областного центра и в 72 км от железной дороги. Граничит с Курганской областью (Мокроусовский, Частоозерский районы) и пятью районами Тюменской области (Бердюжский, Голышмановский, Омутинский, Заводоуковский, Упоровский). Площадь территории – 3109 км². Одним из наиболее характерных ландшафтов района являются многочисленные озера, самые разнообразные по величине и форме, происхождению и химическому составу воды. Всего на территории района расположено около 300 озер.

В качестве районов исследования были выбраны прилегающие территории предприятий, расположенных в разных точках села и занимающихся различной производственной деятельностью:

- Унитарное муниципальное предприятие жилищно-коммунального хозяйства (УМП ЖКХ) – оказание жилищно-коммунальных услуг населению;
- Дорожно-ремонтное строительное управление (ДРСУ) – строительство, ремонт и содержание автомобильных дорог и дорожных покрытий на территории района;
- ОАО «Армизонагрострой» – строительство гражданских и социальных зданий и сооружений;
- Хлебоприемное предприятие (ХПП) – приемка, очистка, сушка, хранение и отпуск зерна.

Качество атмосферного воздуха в с. Армизонское оценивали по результатам химического анализа, определяя содержание основных загрязняющих веществ, а также метода биоиндикации [6].

Для проведения биологических исследований растительные образцы отбирали непосредственно вблизи предприятий (опыт) и за чертой села (контроль). Для этого были использованы как травянистые растения (*Taraxacum officinale* Wigg, *Plantago major* L.), так и древесные (*Betula pendula* Roth., *Acer negundo* L.) [10].

У травянистых растений учитывали количество листьев, высоту растений, длину, ширину и площадь листовых пластинок; у березы и клена – длину и ширину листовых пластинок, длину черешков, количество зубчиков на листовой пластинке. При определении площади листьев у древесных культур предварительно определяли переводной коэффициент, а затем путем измерения длины и ширины листа производили вычисления площади листовой пластинки [10].

Статистическую обработку данных проводили по стандартной методике [4], используя метод вариационной статистики и определение корреляционной связи. Для установления коррелятивной связи были выбраны два вещества: оксид железа и соединения марганца и морфологические показатели – длина листовой пластинки и количество листьев (травянистые растения), длина и ширина листовой пластинки (древесные культуры).

Результаты и их обсуждение

Результаты химического анализа свидетельствуют о том, что преобладающими среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух и превышающих установленные ПДК в 1,5–6,0 раз, оказались оксиды железа и углерода, соединения марганца, взвешенные вещества и углеводороды (табл. 1). Высокие концентрации этих веществ связаны, вероятно, со спецификой производственной деятельности предприятий. К примеру, объемы углеводородов в максимальных количествах поступали от дорожно-ремонтного строительного управления, а взвешенных веществ – от ОАО «Армизонагродстрой». Количества всех видов пыли (зерновая, абразивная, древесная) и сажа определялись на уровне нормативов, либо незначительно (на 9%) их превышали.

Таблица 1

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями по отношению к ПДВ, раз

Загрязняющие вещества	Предприятия					
	ДРСУ	ХПП	Агродстрой	ЖКХ	ПО «Армизонское»	Дорожник
Оксид железа	1,08	0,12	2,67	1,53	1,00	0,71
Углеводороды	6,00	–	1,00	–	1,00	0,87
Взвешенные вещества	–	–	4,33	–	0,67	–
Соединения марганца	0,02	–	0,67	2,00	–	–
Оксид углерода	–	–	–	–	0,91	2,00

Для оценки качества атмосферного воздуха методом биоиндикации были выбраны предприятия, которые располагаются в разных точках села.

Анализ морфологических измерений показал, что на исследуемых территориях количество листьев подорожника большого отмечалось либо на уровне контроля (ХПП, ЖКХ), либо на 10–12% меньше (Агродстрой, ДРСУ). Высота опытных растений незначительно (12–17%) отличалась от контрольных. Длина листовой пластинки подорожника практически на всех территориях (за исключением «Армизонагродстрой») превышала контрольный уровень в 1,5–2,0 раза, тогда как ширина листа была выше контрольных значений только у ДРСУ (табл. 2).

Таблица 2

Морфологические показатели подорожника большого *Plantago major*

Район исследования	Кол-во листьев, шт.	Высота растения, см	Листовая пластинка	
			Длина, см	Ширина, см
Контроль	7,1±0,7	15,5±0,7	7,6±0,2	5,4±0,1
ДРСУ	6,3±0,5**	19,4±0,6	15,6±1,4	9,5±1,1
ХПП	6,9±0,2*	12,8±0,5**	11,9±0,4	4,9±0,2*
ОАО «Армизонагродстрой»	6,4±0,7*	13,5±0,6*	6,8±0,7*	4,5±0,3*
УМП ЖКХ	7,0±0,9*	13,7±0,5*	11,4±1,2	5,3±0,2*

Примечание: здесь и далее: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$.

Таким образом, результаты измерений *Plantago major* свидетельствуют о том, что наиболее загрязненной оказалась территория «Армизонагродстройка», т. к. по всем показателям отмечались достоверные отклонения от контроля, а менее загрязненной – ДРСУ: практически все тест-параметры превышали показатели контроля.

При оценке влияния выбросов предприятий на рост и развитие одуванчика лекарственного было установлено, что все учитываемые показатели растений, отобранных на территориях ДРСУ, ХПП, «Армизонагродстрой», были ниже контрольных значений на 5 (высота растений) – 35 (ширина листовой пластинки) процентов (табл. 3).

Таблица 3

Морфологические показатели одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* Wigg

Район исследования	Кол-во листьев, шт.	Высота растения, см	Листовая пластинка	
			Длина, см	Ширина, см
Контроль	11,1±0,2	13,1±0,3	11,8±0,3	3,4±0,1
ДРСУ	8,0±0,5*	13,1±0,5*	9,9±0,6*	2,2±0,1**
ХПП	8,3±0,7*	12,5±0,5*	11,9±0,6	3,1±0,1*
ОАО «Армизонагродстрой»	7,9±0,9**	10,3±0,2**	9,8±0,7*	2,7±0,2**
УМП ЖКХ	12,8±1,0	15,9±0,8	12,4±1,2	3,5±0,3

Согласно полученным результатам, наиболее загрязненными оказались территории «Армизонагрострой» и ДРСУ: морфологические показатели растений, отобранных вблизи этих предприятий, были достоверно ниже контрольных на 16–35%. Определена наиболее чувствительная тест-функция одуванчика – количество листьев, т. к. почти на всех территориях этот показатель составлял 71–75% от значений в контроле.

При анализе морфологических показателей березы повислой было отмечено, что на всех исследуемых территориях (кроме ДРСУ) длина листовой пластинки превышала уровень контроля на 18–49%. Наибольшее отклонение по этому показателю отмечалось у листьев березы, отобранных вблизи предприятий УМП ЖКХ и «Армизонагрострой». Превышение контрольных значений (на 38%) регистрировалось также по площади листовой пластинки – на территории ЖКХ. Меньше контрольных значений у листьев березы были отмечены такие показатели как ширина листовой пластинки (на 17% – территория ДРСУ), количество зубчиков (17% – ДРСУ, 26% – ХПП) (табл. 4).

Таблица 4

Изменение морфологических показателей березы повислой *Betula pendula*

Район исследования	Листовая пластинка			Длина черенка, см	Кол-во зубчиков, шт.
	Длина, см	Ширина, см	S, см ²		
Контроль	4,3±0,5	4,2±0,18	2,1±0,04	39,2±0,52	14,0±0,8
ДРСУ	5,5±0,12	3,5±0,06*	2,3±0,04	32,4±0,54**	12,3±0,5*
ХПП	5,08±0,07	3,9±0,1*	2,0±0,07*	29,1±0,62**	13,3±0,5*
ОАО «Армизонагрострой»	5,7±0,08	4,0±0,05*	2,3±0,03	43,0±0,67	14,7±0,3
УМП ЖКХ	6,4±0,07	4,6±0,15	2,3±0,04	37,3±0,47*	19,3±0,9

Итак, согласно полученным данным, более загрязненными оказались территории ДРСУ и ХПП: практически по всем показателям зарегистрированы отклонения от контроля. Данные измерений свидетельствуют о том, что чувствительным показателем оказалось количество зубчиков на листовой пластинке березы повислой.

Использование березы повислой как организма-биоиндикатора в оценке качества атмосферного воздуха отмечается в работах и других исследователей. К примеру, по флуктуирующей асимметрии листьев березы *Betula pendula* L. были выявлены зоны различной степени загрязненности г. Тольятти [3] и некоторых населенных пунктов Забайкальского края [9].

При анализе морфологических показателей листьев клена американского было отмечено, что все учитываемые параметры были либо на уровне контроля (длина черешка – территории ДРСУ и ЖКХ), либо ниже. Наибольшие отличия от контрольных значений наблюдались по ширине (29–45%) и площади (39–53%) листовой пластинки вблизи предприятий «Агрострой» и ХПК (табл. 5).

Таблица 5

Изменение морфологических показателей клена американского *Aceraceae negundo*

Район исследования	Листовая пластинка			Длина черенка, см	Кол-во зубчиков, шт.
	Длина, см	Ширина, см	S, см ²		
Контроль	10,3±0,11	7,3±0,3	44,3±1,7	10,9±0,2	7,9±0,3
ДРСУ	8,6±0,2*	4,4±0,2***	22,1±2,5***	10,8±0,6*	6,0±0,5**
ХПП	8,4±0,1*	4,0±0,6***	20,7±1,8***	9,2±0,4*	4,7±0,15***
ОАО «Армизонагрострой»	8,8±0,13*	5,2±0,3***	27±1,8**	10,1±0,2*	5,1±0,3***
УМП ЖКХ	9,2±0,13*	6,1±0,2**	37,2±4,9*	10,4±0,5*	6±0,3**

Согласно результатам измерений, менее загрязненной оказалась территория ЖКХ. Чувствительными тест-функциями являлись ширина и площадь листовой пластинки.

В целом же данные морфологических измерений растений свидетельствуют о неоднозначности полученных результатов. Вероятно, это можно объяснить тем, что степень устойчивости растения даже к одному и тому же виду загрязнения воздуха зависит от многих причин: расстояния от источника загрязнения, времени суток, погодных условий, интенсивности и режима выбросов вредных примесей, от физико-географических условий района, обеспечения растения элементами питания и пр. [8].

Результаты корреляционного анализа позволили выявить влияние основных загрязняющих веществ на морфологические показатели растений. Так, воздействие оксида железа на параметры

березы повислой составило 18–22, подорожника большого – 26–34%, что говорит о существовании прямой корреляционной связи средней степени.

Влияние соединений марганца на длину листовой пластинки подорожника большого и березы повислой составило 77–98 и 98% соответственно, что свидетельствует об обратной корреляционной связи сильной степени. При определении связи между содержанием соединений марганца и изменением ширины листовой пластинки (береза повислая) выявлена обратная корреляционная связь слабой степени, т. е. связь практически отсутствует.

На основании полученных расчетов можно заключить, что изменение длины листовой пластинки растений в наибольшей степени связано с присутствием в выбросах предприятий соединений марганца.

Выводы

В атмосферный воздух с. Армизонского от наблюдаемых предприятий в процессе производственной деятельности в наибольшем количестве поступают оксид железа (все предприятия), углеводороды (ДРСУ), соединения марганца (Агрострой, ЖКХ), взвешенные вещества («Армизонагрострой»). К производствам, наиболее загрязняющим атмосферный воздух, относятся: ЖКХ, «Армизонагрострой», ДРСУ.

Наибольшую чувствительность к загрязнению атмосферного воздуха среди древесных культур проявил клен американский; у травянистых растений – одуванчик лекарственный.

Наиболее чувствительными показателями оказались ширина листовой пластинки и количество листьев (травянистые растения); площадь и количество зубчиков листовой пластинки (древесные культуры).

По результатам биоиндикации атмосферного воздуха определены наиболее и менее загрязненные территории: ХПП и ЖКХ соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акатьева Т. Г. Использование метода биоиндикации в оценке качества атмосферного воздуха // Современная наука – агропромышленному производству. Тюмень. 2014.
2. Мухачев И. С., Медведев М. М. Эколого-рыбохозяйственные мелиорации озер Армизонского района Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 12. С. 165–174.
3. Заболотских В. В., Валиуллина В. Н. Биоиндикационные исследования экологического состояния окружающей среды города Тольятти // Евразийское Научное Объединение. 2016. Т. 1. № 5. С. 33–36.
4. Зверев А. А., Зефирова Т. Л. Статистические методы в биологии. Казань. 2013.
5. Иваныкина Т. В. Актуальность биоиндикации растений в условиях техногенного загрязнения // Вестник Амурского государственного университета. 2010. № 51. С. 81–83.
6. Мелехова О.П., Евсеева Т.И., Сарапульцева Е.И. 2015. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М.: Academia. 288.
7. Попова А. Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации // Здоровье населения и среда обитания. 2014. № 2 (251). С. 4–7.
8. Татарникова В. Ю., Дашиева О. Древесные растения и городская среда // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 23. С. 191–194.
9. Тюкавкина Д. В., Шитикова А. В., Звягинцев В. В. Оценка качества среды населенных пунктов // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. Пермь, 2016. С. 93–94.
10. Федорова А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды. М.: ВЛАДОС, 2001.
11. Блинов Л. Н., Полякова В. В., Соколов И. А. Основные экологические проблемы России // Научные дискуссии о ценностях современного общества. 2016. С. 40–46.

REFERENCES

1. Akateva, T.G. (2014). Using the bioindication method in assessing the quality of atmospheric air. *In Modern Science - Agro-Industrial Production, Tyumen*. 3-6. (In Russian).
2. Mukhachev, I. S., & Medvedev, M. M. (2013). Ekologo-rybokhozyaistvennye melioratsii ozer Armizonskogo raiona Tyumenskoj oblasti. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*, (12), 165-174. (In Russian).
3. Zabolotskikh, V. V., & Valiullina, V. N. (2016). Bioindikatsionnye issledovaniya ekologicheskogo sostoyaniya okruzhayushchei sredy goroda Tol'yatti. *Evraziiskoe Nauchnoe Ob'edinenie*, 1(5), 33-36. (In Russian).
4. Zverev, A. A., & Zefirov, T. L. (2013). Statistical methods in biology: a teaching tool. Kazan. 42. (In Russian).

5. Ivanykina, T. V. (2010). Aktual'nost' bioindikatsii rastenii v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta*, (51), 81-83. (In Russian).
6. Melekhova, O. P., Evseeva, T. I., & Sarapultseva, E. I. (2015). Biological environmental control: bioindication and bioassay. Moscow. (In Russian).
7. Popova, A. Yu. (2014). Strategic priorities of the russian federation in the field of ecology from the position of preservation of health of the nation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, (2 (251)). 4-7. (In Russian).
8. Tatarnikova, V. Yu., & Dashieva, O. (2009). Drevesnye rasteniya i gorodskaya sreda. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, (23). 191-194. (In Russian).
9. Tyukavkina, D. V., Shitikova, A. V., Zvyagintsev, V. V. (2016). Assessing the quality of the environment of human settlements. *In Development of modern science: theoretical and applied aspects*, Perm. 93-94. (In Russian).
10. Fedorova, A. I. (2001). *Praktikum po ekologii i okhrane okruzhayushchei sredy*. Moscow. (In Russian).
11. Blinov, L. N., Polyakova, V. V., & Sokolov, I. A. (2016). Osnovnye ekologicheskie problemy Rossii. In *Nauchnye diskussii o tsennostyakh sovremennogo obshchestva* (pp. 40-46). (In Russian).

Акатьева Т. Г. Оценка качества атмосферного воздуха в с. Армизонское Тюменской области методом биоиндикации // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 2. С. 151–156. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/20>

Akatyeva, T. G. (2020). Bioindicator assessment of air quality in Armizonskoye village, Tyumen region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2). 151–156. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/20>

дата поступления: 03 декабря 2019 г.

дата принятия: 25 апреля 2020 г.

© Акатьева Т.Г.