

ISSN 2658-6649

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

www.discover-journal.ru



Volume 13, Number 3
2021

ISSN 2658-6649 (print)
ISSN 2658-6657 (online)

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 13, Number 3
2021

Главный редактор:

Дентовская С.В. – доктор медицинских наук, профессор, заведующая лабораторией микробиологии чумы (Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, пос. Оболенск, Серпуховский р-н, Московская обл., Российская Федерация)

Заместители главного редактора:

Медведев Л.Н. – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии (ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Российская Федерация)

Оказова З.П. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности (ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет», Грозный, Российская Федерация)

Москаленко О.Л. – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Красноярск 2021

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Научно-практический рецензируемый журнал
Peer-reviewed scientific-practical journal

Периодичность. 6 номеров в год / Periodicity. 6 issues per year

Том 13, № 3, 2021

<p>Учредитель и издатель: ООО Научно-инновационный центр</p> <p>Журнал основан в 2008 году Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Свидетельство регистрации ПИ № ФС 77 - 71726 от 30.11.2017 г.</p> <p>Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (Перечень ВАК)</p> <p>Индексирование и реферирование: Scopus РИНЦ Ulrich's Periodicals Directory Cyberleninka Google Scholar ВИНИТИ РАН DOAJ BASE EBSCO WorldCat OpenAIRE ЭБС IPRbooks ЭБС Znanium ЭБС Лань</p> <p>Адрес редакции, издателя и для корреспонденции: 660127, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192 E-mail: editor@discover-journal.ru http://discover-journal.ru/</p> <p>Подписной индекс в каталоге Почты России «Подписные издания» – ПИ900</p>	<p>Founder and publisher: Science and Innovation Center Publishing House</p> <p>Founded 2008 Mass media registration certificate ПИ № ФС 77 - 71726, issued November 30, 2017.</p> <p>Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals and editions, approved by the State Commission for Academic Degrees and Titles (the VAK) of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation</p> <p>Indexing and Abstracting: Scopus RSCI Ulrich's Periodicals Directory Cyberleninka Google Scholar VINITI Database RAS DOAJ BASE EBSCO WorldCat OpenAIRE IPRbooks Znanium Lan'</p> <p>Editorial Board Office: 9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation E-mail: editor@discover-journal.ru http://discover-journal.ru/</p> <p>Subscription index in the 'The Russian Post' General catalog – PI900</p>
---	---

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2021

Члены редакционной коллегии

Анисимов Андрей Павлович, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе (Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, пос. Оболенск, Серпуховский р-н, Московская обл., Российская Федерация)

Балакирев Николай Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор, проректор по науке и инновациям, зав. кафедрой мелкого животноводства (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Москва, Российская Федерация)

Батырбекова Светлана Есимбековна, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан)

Буко Вячеслав Ульянович, доктор биологических наук, профессор, зав. отделом биохимической фармакологии (Институт биохимии биологически активных соединений АН Беларуси, Гродно, Республика Беларусь)

Глотов Александр Гаврилович, доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий лабораторией биотехнологии, главный научный сотрудник (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, пос. Краснообск, Российская Федерация)

Казакова Алия Сабировна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой агробиотехнологии (Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Зерноград, Российская Федерация)

Козлов Василий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация)

Лесовская Марина Игоревна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экономики и агробизнеса (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск, Российская Федерация)

Лисняк Анатолий Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией лесного почвоведения

УкрНИИЛХА; доцент кафедры экологии и неозологии ХНУ (Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого (УкрНИИЛХА); Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина (ХНУ), Харьков, Украина)

Манчук Валерий Тимофеевич, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, научный руководитель института (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Мойсеёнок Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий Отделом витаминологии и нутрицевтики ГП "Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси" (Гродно), главный научный сотрудник Отдела питания НПЦ НАН Беларуси по продовольствию (Минск) (Национальная академия наук Беларуси, Республика Беларусь)

Музурова Людмила Владимировна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры анатомии человека (Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Министерства здравоохранения Российской Федерации, Саратов, Российская Федерация)

Науанова Айнаш Пахуашовна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник (Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан)

Никитюк Дмитрий Борисович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Российская Федерация)

Пуликов Анатолий Степанович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения РФ, главный научный сотрудник группы функциональной морфологии клинического отделения патологии пищеварительной системы у взрослых и детей (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Полунина Наталья Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующая кафедрой кафедра общественного здоровья и здравоохранения, экономики здравоохранения (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация)

Поползухина Нина Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии, природопользования и биологический работник сферы образования Российской Федерации, Почетный работник сферы образования Российской Федерации (ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина, Омск, Российская Федерация)

Рапопорт Жан Жозефович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения СССР, заслуженный изобретатель СССР, почетный профессор НИИ МПС; консультант (Больничная касса "Леумит", Хайфа, Израиль)

Рахимов Александр Иманулович, доктор химических наук, профессор, профессор по кафедре «Органическая химия» (Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация)

Рахимова Надежда Александровна, доктор химических наук, профессор (Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация)

Родин Игорь Алексеевич, доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры анатомии, ветеринарного акушерства и хирургии (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация)

Рожко Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры медицинской и биологической физики (Красноярский государственный медицинский университет им. В.Ф. Войно-Ясенецкого Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красноярск, Российская Федерация)

Сетков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, международный научный центр исследования экстремальных состояний организма, профессор кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Российская Федерация)

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, директор научно-исследовательского института управления технологическими системами в АПК, заведующий кафедрой «Технические системы в агробизнесе» (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный аграрный университет", Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Смирнова Ольга Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, зав. лабораторией клинической патофизиологии НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН; профессор кафедры медицинской биологии Института фундаментальной биологии и биотехнологии СФУ; профессор кафедры внутренних болезней Медико-психолого-со-

циального института ХГУ (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова, Красноярск, Российская Федерация)

Суханова Светлана Фаилевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева», Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково, Российская Федерация)

Терещенко Сергей Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, руководитель клинического отделения соматического и психического здоровья детей (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Тирранен Ляля Степановна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, международный научный центр исследования экстремальных состояний организма (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Тыщенко Елизавета Алексеевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Товароведения и управление качеством» (Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, Кемерово, Российская Федерация)

Шелепов Виктор Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией «Разработка продуктов для функционального питания человека и животных (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробιο-технологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Российская Федерация)

Шнайдер Наталья Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор, в.н.с. отделения персонализированной психиатрии и неврологии (Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева, Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Editorial Board Members

Andrey Anisimov, Doctor of Medicine, Professor, Deputy Director for Science (Federal Service for Supervision in the Sphere of Customers Rights and Human Well-Being Federal State Institution of Science State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Moscow Region, Russian Federation)

Nikolai Balakirev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pro-Rector for Science and Innovation, Head of the Department of Small Animal Husbandry (Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation)

Svetlana Batyrbekova, Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan)

Vyacheslav Buko, Doctor of Biology, Professor, Head of the Department of Biochemical Pharmacology (Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the Academy of Sciences of Belarus, Grodno, Belarus)

Alexander Glotov, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Biotechnology, Chief Scientific Officer (Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russian Federation)

Aliya Kazakova, Doctor of Biology, Professor, Head of Department of Agrobiotechnology (Azov-Black Sea State Agroengineering Academy, Zernograd, Russian Federation)

Vasilij Kozlov, Candidate of Medicine (Ph.D.), Associate Professor, Assistant Professor of Public Health and Health Care (I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation)

Marina Lesovskaya, Doctor of Biology, Professor, Professor of the Department 'Economics and Agribusiness' (Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Anatoly Lisnyak, Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Forest Soil Science; Associate Professor of the Department of Ecology and Neoeology (Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry named after G.M. Vysotsky, Kharkiv National University of V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine)

Valery Manchuk, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of RAS, Scientific Director of the Institute (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center») of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Andrei Moiseenok, Doctor of Biology, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Department of Vitaminology and Nutraceutical Technologies of the State Enterprise "Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus" (Grodno), Chief Researcher of the Nutrition Department of the National Center for Food of Belarus (Minsk) (The National Academy of Sciences of Belarus, Belarus)

Lyudmila Muzurova, Doctor of Medicine, Professor, Professor of the Department of Human Anatomy (Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation)

Aynash Nauanova, Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher (S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Republic of Kazakhstan)

Dmitry Nikitjuk, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of RAS, Director (Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation)

Anatoly Pulikov, Doctor of Medicine, Professor, chief researcher group of the functional morphology of the clinical department of pathology of the digestive system in children and adults (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Natalya Polunina, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Public Health and Health Economics of the Russian Federation (Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation)

Nina Popolzukhina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Ecology, Nature Management and Biology, Honorary Worker of Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Education of the Russian Federation (Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation)

Jan Rapoport, Doctor of Medicine, Professor, Honored Worker of the USSR Public Health, Honored Inventor of the USSR, Honorary Professor of the Research Institute of the Ministry of Railways; Consultant (Health Insurance Fund "Leumit", Haifa, Israel)

Aleksandr Rakhimov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organic Chemistry (Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation)

Nadezhda Rakhimova, Doctor of Chemical Sciences, Professor (Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation)

Igor Rodin, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Anatomy, Veterinary Obstetrics and Surgery (Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation)

Tatiana Rozhko, Candidate of Biology (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical and Biological Physics (Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Nikolay Setkov, Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher, International Research Center Study of Extreme States of the Body, Professor of the Department of Biophysics, Institute of Basic Biology and Biotechnology (Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Viktor Smelik, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Research Institute of Management of Technological Systems in the Agroindustrial Complex, Head of the Department "Technical Systems in Agribusiness" (St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation)

Olga Smirnova, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Laboratory of Clinical Pathophysiology; Professor of the Department of Medical Biology of the Institute of Fundamental Biology and Biotechnology; Professor of the Department of Internal Medicine of the Medical-Psychological-Social Institute (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Siberian Federal University; Khakass State University named after N.F. Katanov, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Svetlana Sukhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector (Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev, Kurgan region, Ketovsky district, Leshnikovo village, Russian Federation)

Sergey Tereshchenko, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Clinical Department of Physical and Mental Health of Children (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Lyalya Tirranen, Doctor of Biology, Leading Researcher, International Research Center Study of Extreme States of the Body (Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Elizaveta Tyshchenko, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Commodity and quality management (Kemerovo Institute of Food Science and Technology, Kemerovo, Russian Federation)

Viktor Shelepov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory "Development of Products

for Functional Nutrition of Humans and Animals" (Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russian Federation)

Natalya Shnaider, Doctor of Medicine, Professor, Leading Researcher, Department of Personalized Psychiatry and Neurology (V.M. Bekhterev National Research Medical Centre for Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russian Federation)

КАРДИОЛОГИЯ. СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

CARDIOLOGY AND CARDIOVASCULAR MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-11-28

УДК 616.12-008.331.1-053.9

ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУТОЧНОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТОНИЕЙ РАНЕЕ ПРОЖИВАВШИХ В УСЛОВИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ

Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко

Цель. Изучение особенностей показателей суточного мониторирования АД у лиц пожилого возраста с АГ, ранее проживавших в условиях Заполярья.

Материалы и методы. В исследовании приняло участие 267 пациентов пришлого населения (европеоидов) обоего пола с АГ, прибывших из Заполярья на постоянное место жительства в Центральную Сибирь. Доля обследуемых лиц пожилого возраста составила 50,9%. Суточное мониторирование АГ проводили с использованием аппарата ВРLab МнСДП-2 («Петр Телегин», Россия).

Результаты. В ходе анализа полученных данных СМАД установлено, что для лиц, ранее проживавших в условиях Заполярья старших возрастных групп характерны более высокие среднесуточные, дневные и ночные уровни АД, повышение значений параметров индекса времени, наибольшее превышение нормативных величин скоростных показателей утренней динамики АД, а

также наибольшие изменения суточного профиля АД за счет недостаточного снижения АД в ночные часы – «non-dipper».

Заключение. Среди бывших жителей Заполярья пожилого возраста, больных АГ, отмечаются более высокие значения большинства показателей суточного мониторинга АД и высокая частота суточного профиля «non-dipper», в сравнении с аналогичной группой больных проживающих в г. Красноярске.

Ключевые слова: Заполярье; старшие возрастные группы; артериальная гипертония; суточное мониторирование артериального давления

Для цитирования: Яскевич Р.А., Москаленко О.Л. Особенности показателей суточного мониторирования артериального давления у лиц пожилого возраста с артериальной гипертонией ранее проживавших в условиях Заполярья // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 11-28. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-11-28

FEATURES OF INDICATORS OF 24-HOUR MONITORING OF BLOOD PRESSURE IN ELDERLY PERSONS WITH ARTERIAL HYPERTENSION WHO PREVIOUSLY LIVED IN POLAR REGIONS

R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko

Purpose. To study the features of indicators of daily monitoring of blood pressure in elderly people with hypertension who previously lived in the Arctic.

Materials and methods. The study involved 267 patients of the immigrant population (Caucasians) of both sexes with hypertension who arrived from the Arctic for permanent residence in Central Siberia. The share of surveyed elderly people – 50.9%. Daily monitoring of hypertension performed using a BPLab MnSDP-2 apparatus («Petr Telegin», Russia).

Results. In the course of the analysis of the obtained ABPM data, it found that for persons who previously lived in the Arctic of the older age groups, higher average daily, daytime and nighttime levels of blood pressure are characteristic. The increase in the values of the time index parameters and the greatest excess of the standard values of the speed indicators of the morning dynamics of blood pressure. And also the greatest changes in the daily blood pressure profile due to insufficient decrease in blood pressure at night – «non-dipper».

Conclusion. *Among the former residents of the Arctic of the elderly, patients with hypertension, there are higher values of most indicators of daily monitoring of blood pressure and a high frequency of the daily profile «non-dipper», in comparison with a similar group of patients living in Krasnoyarsk.*

Keywords: *Arctic; older age groups; arterial hypertension; daily monitoring of blood pressure*

For citation. *Yaskevich R.A., Moskalenko O.L. Features of Indicators of 24-hour Monitoring of Blood Pressure in Elderly Persons with Arterial Hypertension Who Previously Lived in Polar Regions. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 11-28. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-11-28*

Введение

Улучшение качества оказания медицинской помощи и увеличение продолжительности жизни способствуют росту популяции пожилых и старых людей [2, с. 24-25; 11; 15, с. 3028-3034]. По прогнозам экспертов, к 2050 г. доля лиц старше 60 лет удвоится (с 11 до 22%) и достигнет 2 млрд человек, а число лиц 80 лет и старше увеличится почти в 4 раза [11; 15, с. 3028-3034].

Демографическая ситуация в России также характеризуется постепенным увеличением абсолютной и относительной численности граждан старшего поколения при одновременном сокращении доли населения трудоспособного возраста, что обуславливает актуальность проблемы старения [2, с. 24-25; 8, с. 774-784].

АГ у лиц пожилого и старческого возраста – одна из актуальных современных проблем, обусловленная её высокой популяционной частотой, негативным влиянием на состояние здоровья, работоспособность, продолжительность жизни и высоким риском развития поражений органов-мишеней [2, с. 24-25; 8, с. 774-784]. Тенденция старения населения и, вместе с ней, увеличение распространенности АГ определяет необходимость изучения особенностей диагностики и лечения АГ у пациентов пожилого и старческого возраста [8, с. 774-784]. Немаловажное значение имеет изучение этих особенностей АГ среди населения пожилого и старческого возраста, проживающего в суровых условиях Крайнего Севера и Сибири [3, с. 48-52; 6, с. 66-71; 13, с. 672-677].

В условиях демографического кризиса изучение факторов, определяющих региональные особенности течения ССЗ, представляется первоочередной задачей для разработки диагностических, лечебных и профилактических мероприятий, улучшающих прогноз жизни проживающих на Крайнем Севере и в Сибири [17, с. 337-339; 21, с. 157-162; 22, с. 213-217].

В настоящее время СМАД является ценным диагностическим методом, позволяющим выявить индивидуальные особенности суточного профиля АД [7, с.62-72; 16, с. 564-570]. Аномальные циркадные профили АД наблюдается в основном у пациентов со вторичными формами артериальной гипертензии [16, с. 564-570], а также у больных с нарушением обмена веществ и пожилых людей [4, с. 175-180; 9, с. 14-18; 10, с. 38-43]. Несколько крупных исследований показали высокую частота встречаемости недостаточного ночного снижения АД («non-dipper») среди лиц пожилого возраста [16, с. 564-570; 18, с. 432-437]. Учитывая тот факт, что чаще на новое место жительства, из регионов Крайнего Севера, выезжают лица, достигшие пенсионного возраста, как правило относящиеся к пациентам старших возрастных групп [17, с. 337-339], изучение особенностей клинического течения АГ, включающие показатели СМАД [12, с. 37-39], у этой категории населения является актуальным. А использование персонализированного подхода к профилактике и реабилитации возраст-ассоциированных заболеваний, в том числе и среди жителей Заполярья, старших возрастных групп, позволит продлить период их жизненной активности без регулярного пребывания в медицинских учреждениях [21, с. 157-162; 22, с. 213-217].

Цель исследования

Изучение особенностей показателей суточного мониторинга АД у лиц пожилого возраста с АГ, ранее проживавших в условиях Заполярья.

Материалы и методы

В исследование было включено 267 пациентов пришлого населения (европеоидов) обоего пола с АГ II – III стадии (ESH/ESC, 2018) [20, с. 3021-104], прибывших из Заполярья (г. Норильск, широта: 69°21.21' с.ш.) на постоянное место жительства в Центральную Сибирь (г. Красноярск, широта: 56°1.1034' с.ш.), средний возраст – 64,0 [59,0;73,0] лет (далее – жители Заполярья). В группу сравнения вошли 267 пациентов с АГ, постоянно проживающие в г. Красноярске, аналогичного возрастного диапазона (65,0 [59,0;74,0] лет) ($U=34310,5$; $Z=-0,7$; $p=0,454$).

В соответствии с целями исследования, разделение обследуемых пациентов на возрастные группы осуществляли с учетом подхода, примененного в рекомендациях Европейского общества кардиологов по диагностике и лечению АГ (ESH/ESC, 2018) [20, с. 3021-104]. Были сформированы группы пациентов среднего (18-64 года) и пожилого (65-79 лет) возраста. Все пациенты давали письменное информированное согласие. Исследование

проводилось в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации и было одобрено локальным этическим комитетом.

Суточное мониторирование АД (СМАД) проводилось с использованием аппарата BPLab МнСДП-2 («Петр Телегин», Россия) в течение 24 часов. Рассчитывались средние значения систолического и диастолического АД (САД и ДАД), индекса времени (ИВ) повышенного АД, вариабельности АД (ВАД) – за три периода мониторирования – сутки, день, ночь; оценивались показатели суточного индекса (СИ) АД и утреннего подъема (УП) АД. С учетом показателей степени ночного снижения АД больные АГ были отнесены к одной из четырех категорий: *dipper* (10% <СИ <22%), *non-dipper* (СИ <10%), *over-dipper* (СИ > 22%) и *night-peaker* (СИ имел отрицательное значение).

Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием пакета программ Statistica 6.0 № EXXR202F256520FAN10 («StatSoft», США). Количественные значения представляли в виде медианы (*Me*) и межквартильного интервала в виде 25 и 75 перцентилей (Q_{25} - Q_{75}). Значимость различий между показателями независимых выборок оценивали по непараметрическому критерию Манна-Уитни. При сравнении групп по качественному признаку использовали критерий χ^2 . Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Анализируя средние показатели СМАД, установлено, что у жителей Заполярья пожилого возраста наблюдались статистически значимо высокие показатели среднесуточного – 84,0 [74,0; 88,0] мм рт.ст., среднедневного – 86,0 [78,0; 89,6] мм рт.ст. и средненочного 78,0 [71,0; 83,0] мм рт.ст. диастолического АД (ДАД) в сравнении с группой пациентов, аналогичного возраста, проживающих в г. Красноярске: 77,0 [69,9; 83,6] мм рт.ст. (U=618,0, Z=2,3, p=0,019), 81,4 [72,2; 85,1] мм рт.ст. (U=628,0, Z=2,3, p=0,024) и 71,6 [66,1; 78,0] мм рт.ст. (U=626,0, Z=2,3, p=0,023) соответственно (табл. 1).

Выявленное статистически значимое увеличение данных показателей у жителей Заполярья пожилого возраста, особенно средненочного АД, более выраженного для ДАД (диастолическая «ночная» гипертензия), по мнению ряда авторов, изучавших особенности СМАД у проживающих и работающих в условиях Крайнего Севера, является наиболее существенным гемодинамическим параметром, влияющим на структурное состояние миокарда у больных АГ [1, с. 32-36; 5, с. 43-49; 19, с. 596]. Значения среднесуточного, среднедневного и средненочного САД и ДАД были выше у жителей Заполярья пожилого возраста, в сравнении с лицами среднего возраста, однако различия не имели статистической значимости.

В настоящее время имеется достаточно оснований рассматривать высокую вариабельность АД (ВАД) как независимый фактор риска поражения органов-мишеней [6, с. 66-71; 16, с. 564-570; 18, с. 432-437]. Характерной чертой артериальной гипертензии пожилых пациентов является высокая ВАД, особенно вариабельность САД (ВСАД) [4, с. 175-180].

Проведенный анализ ВАД показал, что в группе пожилых больных с АГ, постоянно проживающих в г. Красноярске, значения ВСАД – 14,6 [12,6; 17,1] мм рт.ст. и вариабельности ДАД (ВДАД) – 14,6 [12,6; 17,1] мм рт.ст. были статистически значимо выше, чем в группе жителей Заполярья, аналогичной возрастной группы: ВСАД – 12,5 [10,0; 15,0] мм рт.ст. ($U=600,0$, $Z=-2,5$, $p=0,012$) и ВДАД – 10,0 [8,5; 12,6] мм рт.ст. ($U=564,0$, $Z=-2,8$, $p=0,005$) соответственно (табл. 1).

Несмотря на то, что среди проживающих в Красноярске, лиц пожилого возраста, среднесуточные показатели были значимо выше, в сравнении с жителями Заполярья, значения ВАД не являлись повышенными, так как не было выявлено хотя бы одного из 4 критических значений.

При анализе дневной и ночной ВАД установлено, что данные показатели были несколько выше среди пожилых пациентов г. Красноярска: ВСАД – 12,5 [9,9; 15,4] мм рт.ст. vs 11,0 [9,0; 14,0] мм рт.ст. и ВДАД – 10,1 [7,8; 11,8] мм рт.ст. vs 8,2 [6,9; 10,0] мм рт.ст. соответственно, а по значениям ночного ВДАД различия имели статистическую значимость ($U=640,0$, $Z=-2,1$, $p=0,032$). Однако изучаемые показатели во всех группах обследованных, как и среднесуточные значения ВАД, не превышали референсных значений.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика показателей суточного мониторирования АД у обследованных жителей Заполярья и г. Красноярска с АГ

Показатели		18-64 года		65-80 лет		P
		1. Заполярье	2. Красноярск	3. Заполярье	4. Красноярск	
Сутки	САД, мм рт.ст.	127,5 [119,0; 141,0]	131,5 [123,2; 139,3]	131,0 [124,3; 142,6]	132,0 [119,0; 139,8]	$p_{1,2}=0,634$; $p_{3,4}=0,391$; $p_{1,3}=0,218$; $p_{2,4}=0,950$
	ДАД, мм рт.ст.	80,0 [73,8; 86,0]	79,6 [75,7; 85,0]	84,0 [74,0; 88,0]	77,0 [69,9; 83,6]	$p_{1,2}=0,869$; $p_{3,4}=0,019$; $p_{1,3}=0,304$; $p_{2,4}=0,127$
	ВСАД, мм рт.ст.	12,8 [11,0; 15,6]	14,0 [11,2; 16,9]	12,5 [10,0; 15,0]	14,6 [12,6; 17,1]	$p_{1,2}=0,328$; $p_{3,4}=0,012$; $p_{1,3}=0,414$; $p_{2,4}=0,423$
	ВДАД, мм рт.ст.	10,8 [9,5; 13,0]	11,5 [9,6; 13,6]	10,0 [8,5; 12,6]	11,9 [9,9; 15,0]	$p_{1,2}=0,385$; $p_{3,4}=0,005$; $p_{1,3}=0,127$; $p_{2,4}=0,394$
	ИВ САД, %	36,0 [11,0; 68,1]	37,3 [21,4; 67,7]	38,0 [20,0; 65,0]	46,4 [19,6; 66,7]	$p_{1,2}=0,461$; $p_{3,4}=0,996$; $p_{1,3}=0,499$; $p_{2,4}=0,938$
	ИВ ДАД, %	36,5 [15,7; 52,3]	39,4 [22,0; 55,8]	38,0 [19,0; 63,8]	27,8 [16,7; 49,3]	$p_{1,2}=0,541$; $p_{3,4}=0,145$; $p_{1,3}=0,369$; $p_{2,4}=0,203$

Окончание табл. 1.

День	САД, мм рт.ст.	129,0 [121,0; 143,0]	133,0 [124,5; 143,0]	134,0 [126,1; 142,0]	133,5 [123,0; 140,5]	$p_{1,2}=0,519; p_{3,4}=0,434;$ $p_{1,3}=0,251; p_{2,4}=0,697$
	ДАД, мм рт.ст.	82,5 [77,0; 88,0]	82,1 [76,5; 88,0]	86,0 [78,0; 89,6]	81,4 [72,2; 85,1]	$p_{1,2}=0,970; p_{3,4}=0,024;$ $p_{1,3}=0,291; p_{2,4}=0,136$
	ВСАД, мм рт.ст.	13,0 [10,1; 16,0]	12,3 [10,6; 17,2]	13,0 [11,0; 16,0]	15,0 [11,9; 18,3]	$p_{1,2}=0,958; p_{3,4}=0,237;$ $p_{1,3}=0,656; p_{2,4}=0,152$
	ВДАД, мм рт.ст.	10,1 [8,7; 13,0]	10,7 [8,7; 13,0]	10,5 [9,0; 13,1]	12,1 [9,2; 15,0]	$p_{1,2}=0,648; p_{3,4}=0,199;$ $p_{1,3}=0,611; p_{2,4}=0,182$
	ИВ САД, %	27,9 [2,0; 75,0]	23,8 [5,6; 59,0]	32,0 [12,0; 59,0]	26,2 [7,3; 54,1]	$p_{1,2}=0,991; p_{3,4}=0,510;$ $p_{1,3}=0,681; p_{2,4}=0,883$
	ИВ ДАД, %	19,5 [4,0; 44,0]	20,5 [5,4; 43,1]	26,6 [9,1; 53,0]	15,8 [6,1; 27,6]	$p_{1,2}=0,949; p_{3,4}=0,059;$ $p_{1,3}=0,239; p_{2,4}=0,401$
Ночь	САД, мм рт.ст.	124,5 [112,4; 133,0]	124,1 [115,9; 134,0]	126,0 [117,0; 137,0]	124,8 [118,7; 141,0]	$p_{1,2}=0,730; p_{3,4}=0,786;$ $p_{1,3}=0,238; p_{2,4}=0,680$
	ДАД, мм рт.ст.	75,5 [68,0; 80,0]	73,7 [69,3; 80,1]	78,0 [71,0; 83,0]	71,6 [66,1; 78,0]	$p_{1,2}=0,869; p_{3,4}=0,023;$ $p_{1,3}=0,277; p_{2,4}=0,178$
	ВСАД, мм рт.ст.	11,0 [9,0; 14,0]	12,8 [10,4; 14,8]	11,0 [9,0; 14,0]	12,5 [9,9; 15,4]	$p_{1,2}=0,061; p_{3,4}=0,091;$ $p_{1,3}=0,703; p_{2,4}=0,703$
	ВДАД, мм рт.ст.	9,6 [7,0; 12,6]	9,9 [8,3; 12,0]	8,2 [6,9; 10,0]	10,1 [7,8; 11,8]	$p_{1,2}=0,648; p_{3,4}=0,032;$ $p_{1,3}=0,056; p_{2,4}=0,589$
	ИВ САД, %	48,3 [17,9; 76,0]	59,6 [33,0; 86,3]	60,0 [17,0; 93,0]	60,7 [38,3; 94,8]	$p_{1,2}=0,216; p_{3,4}=0,528;$ $p_{1,3}=0,416; p_{2,4}=0,583$
	ИВ ДАД, %	50,5 [24,3; 89,0]	65,5 [39,4; 82,1]	79,0 [19,9; 91,0]	52,5 [33,2; 74,5]	$p_{1,2}=0,241; p_{3,4}=0,230;$ $p_{1,3}=0,369; p_{2,4}=0,222$

Примечание. АД – артериальное давление; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ИВ – индекс времени; ВСАД – вариабельность САД; ВДАД – вариабельность ДАД.

Для количественной оценки эпизодов повышения АД используют показатели «нагрузки давлением», которые более точно, чем средние значения АД, характеризуют нагрузку на органы-мишени [8, с. 774-784; 16, с. 564-570; 18, с. 432-437], а применение индекса времени (ИВ) гипертензии, оценивающего долю измерений, превышающих нормальные показатели АД, для оценки «нагрузки давлением» наиболее оправдано у пожилых [4, с. 175-180]. Анализ показателей «нагрузки давлением» у жителей Заполярья пожилого возраста, больных АГ, выявил повышение значений всех показателей ИВ, за исключением значений ИВ САД за сутки и в ночные часы, в сравнении с аналогичной группой больных проживающих в г. Красноярске (табл. 1). Однако выявленные различия не имели статистической значимости. При этом значения показателей ИВ как за сутки, так и в ночное и дневное время были ниже у жителей Заполярья среднего возраста, больных АГ, в сравнении с группой пожилых жителей Заполярья. Следует отметить, что в исследуемых группах абсолютно все показатели «нагрузки давлением» были значительно выше допустимых

нормативных значений (>15%), с более выраженным увеличением в ночное время (табл. 1). Выявленная тенденция в плане увеличения ИВ АД в группе жителей Заполярья с АГ пожилого возраста возможно связана с симпатической гиперактивностью, и которая, по мнению Запесочной И.Л. с соавт. (2013) приводит не только к повышению АД, но и к развитию и прогрессированию гипертрофии ЛЖ, ремоделированию сердца и сосудов, аритмиям, нарушению перфузии почек [5, с. 43-49].

Многочисленные исследования свидетельствуют, что большинство сердечно-сосудистых катастроф: мозговых инсультов, симптомной и бессимптомной ишемии, а также инфарктов миокарда приходится на утренние часы [10, с. 38-43; 16, с. 564-570; 18, с. 432-437], когда отмечается активация симпатико-адреналовой и ренин-ангиотензин-альдостероновых систем [5, с. 43-49]. В связи с чем в суточном профиле АД специального рассмотрения заслуживает его утреннее повышение. Количественные характеристики параметров утренней динамики (УД) АД представлены в (табл. 2). Медианы ВУП САД и ДАД во всех обследованных группах находились в пределах нормативных значений и не имели статистически значимых различий.

Таблица 2.

Показатели утренней динамики АД при суточном мониторинге у жителей Заполярья и г. Красноярск с АГ в зависимости от возраста

Показатели	18-64 года		65-80 лет		p
	1. Мигранты	2. Красноярск	3. Мигранты	4. Красноярск	
ВУП САД, мм рт.ст.	38,5 [25,5; 48,5]	41,0 [18,0; 51,0]	40,5 [32,6; 56,0]	40,0 [27,0; 53,0]	p ₁₋₂ =0,845; p ₃₋₄ =0,699; p ₁₋₃ =0,422; p ₂₋₄ =0,623
ВУП ДАД, мм рт.ст.	29,5 [20,5; 42,0]	30,0 [14,0; 36,0]	32,0 [24,0; 42,0]	33,0 [20,0; 53,0]	p ₁₋₂ =0,381; p ₃₋₄ =0,981; p ₁₋₃ =0,297; p ₂₋₄ =0,152
СУП САД, мм рт.ст./ час	10,5 [4,0; 15,0]	8,6 [3,0; 11,9]	12,5 [7,0; 22,0]	7,7 [4,9; 10,5]	p ₁₋₂ =0,152; p ₃₋₄ =0,037; p ₁₋₃ =0,231; p ₂₋₄ =0,790
СУП ДАД, мм рт.ст./ час	6,1 [2,2; 18,0]	6,7 [2,0; 8,5]	8,8 [4,6; 15,0]	7,0 [4,0; 10,1]	p ₁₋₂ =0,241; p ₃₋₄ =0,188; p ₁₋₃ =0,426; p ₂₋₄ =0,455

Примечание. АД – артериальное давление; ВУП – величина утреннего подъема; СУП – скорость утреннего подъема; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление.

При анализе скоростных показателей УД установлено, что наибольшее превышение нормативных величин скоростных показателей регистрировалось в группе жителей Заполярья с АГ пожилого возраста: СУП САД – 12,5 [7,0; 22,0] мм рт.ст./ч и СУП ДАД – 8,8 [4,6; 15,0] мм рт.ст./ч соответственно. Среди жителей г. Красноярска с АГ пожилого возраста исследуемые показатели были ниже: СУП САД – 7,7 [4,9; 10,5] мм рт.ст./ч и СУП ДАД – 7,0 [4,0; 10,1] мм рт.ст./ч, а по значениям СУП САД различия имели статистическую значимость ($U=256,0$, $Z=2,1$, $p=0,037$). Медианы СУП САД и СУП ДАД имели более низкие значения, не имеющие статистической значимости, среди жителей Заполярья среднего возраста, в сравнении с пожилыми, при этом данные показатели превышали референсные величины по обоим параметрам: СУП САД – 10,5 [4,0; 15,0] мм рт.ст./ч и СУП ДАД – 6,1 [2,2; 18,0] мм рт.ст./ч соответственно. Подобной закономерности среди жителей г. Красноярска выявлено не было. Обращает на себя внимание то, что значения СУП САД как среди лиц среднего возраста, так и пожилого, не превышали нормативных величин. Статистически значимых различий по СУП ДАД в обследованных группах пожилых пациентов получено не было, хотя скорость утреннего подъема в той и другой группе значительно превышала нормативные показатели: для ДАД – больше 6 мм рт.ст./ч. Похожая картина отмечалась и среди лиц среднего возраста обеих групп.

Прогностически важным параметром СМАД в поражении органов-мишеней является степень ночного снижения АД, которая оценивается по суточному индексу (СИ) [18]. Согласно данным литературы, при недостаточном снижении ночного АД у больных АГ повышается риск органических поражений и увеличивается смертность [1, 5, 19]. Вследствие уменьшения степени ночного снижения АД увеличивается нагрузка на ЛЖ, что проявляется достоверным увеличением массы миокарда ЛЖ, по сравнению с пациентами с нормальным снижением АД в ночное время [19].

Проанализирована частота различных вариантов суточного профиля АД среди обследованных лиц (рис. 1). Измененный суточный профиль АД регистрировался у 73,7% обследованных жителей Заполярья среднего и 73,5% пожилого возраста ($\chi^2=0,00$, $df=1$, $p=0,982$), среди жителей г. Красноярска – у 69 % среднего и 75% пожилого ($\chi^2=0,40$, $df=1$, $p=0,529$) возраста соответственно. Различия между группами пожилого ($\chi^2=0,25$, $df=1$, $p=0,619$) и среднего возраста ($\chi^2=0,03$, $df=1$, $p=0,873$), по частоте измененного суточного профиля АГ, также не имели статистической значи-

мости. Установлено, что чаще, как среди жителей Заполярья (53,1%), так и среди жителей г. Красноярска (44,4%) пожилого возраста ($\chi^2=341$, $df=1$, $p=0,001$) встречались лица с недостаточным ночным снижением АД («non-dipper»), а также значительное количество лиц в каждой группе, с суточным профилем «night-peaker» – 16,3% и 25,0% ($\chi^2=0,98$, $df=1$, $p=0,323$) (рис. 1). Реже всего, среди обследованных во всех группах, встречался профиль «over-dipper».

Полученные результаты о частоте неблагоприятных суточных профилей АД у жителей Заполярья пожилого возраста согласуются с данными проведенных ранее исследований [1, 5, 9, 10].

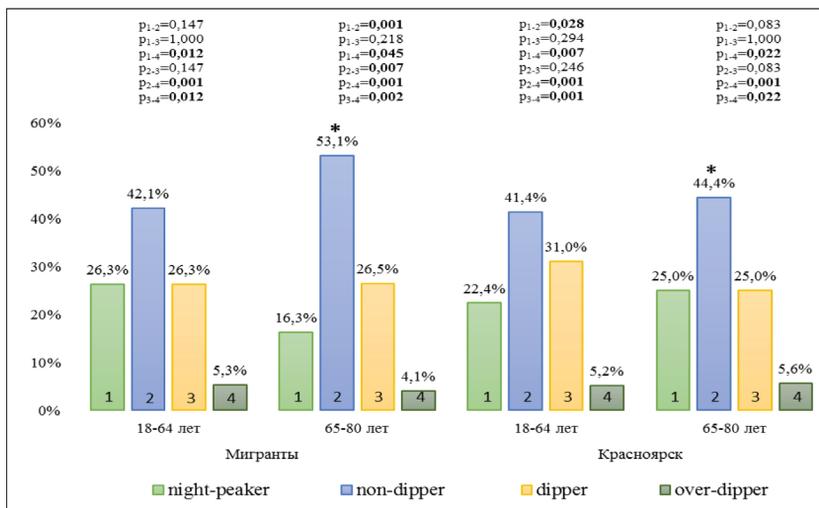


Рис. 1. Показатели суточного ритма АД у обследованных жителей Заполярья и г. Красноярска с АГ в зависимости от возраста.

Примечание: * – различия между группами $p=0,001$

Показано, что с увеличением возраста доля пациентов с профилем dipper сокращалась, а выявляемость недостаточного снижения/повышения ночного АД с возрастом увеличивалась, при этом около половины больных старше 65 лет имели профили «non-dipper» и «night-peaker» [9]. Согласно результатов Запесочной И.Л. с соавт. (2013) [5], среди больных АГ, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре (ХМАО – Югра), преобладал нарушенный суточный профиль non-dipper – 57,3%. Суточные профили «dipper», «night-peaker», «over-dipper» отмечались у –

19,1%, 16,2% и 7,4% обследованных соответственно. По данным Гапон Л.И. с соавт. (2014) [1] результаты анализа суточного индекса АД показали, что только у 1/3 всех пациентов (25,6% коренного и 28% пришлого) зарегистрирована нормальная степень снижения ночного АД, а преобладание лиц с профилями «non-dipper» и «night-peaker», как среди коренных, так и среди пришлых, указывает на более выраженное поражение органов мишеней и более тяжелое течение АГ [19].

Резюмируя вышеизложенное следует отметить, что выявленные особенности показателей СМАД у жителей Заполярья (более высокие среднесуточные, дневные и ночные уровни АД, повышение значений параметров индекса времени, наибольшее превышение нормативных величин скоростных показателей утренней динамики АД, а также наибольшие изменения суточного профиля АД за счет недостаточного снижения АД в ночные часы – «non-dipper») могут указывать на более тяжелое течение АГ в этой группе, что возможно связано с адаптацией к новым условиям проживания, обусловленной высоким уровнем невротизации и стресса в этот период [17, 21, 22]. В связи с чем целесообразно проводить в динамике исследования СМАД лицам, переехавшим из Заполярья, с целью персонализированной оценки сердечно-сосудистого риска и решения вопроса о необходимости назначения и коррекции гипотензивной терапии.

Выводы

У пожилых жителей Заполярья с АГ при суточном мониторинге регистрируются более высокие цифры как САД, так и ДАД во все оцениваемые периоды по сравнению с пациентами, постоянно проживающими в г. Красноярске, аналогичной возрастной группы.

Среди жителей Заполярья пожилого возраста, больных АГ, выявлено повышение значений всех показателей ИВ, за исключением значений ИВ САД за сутки и в ночные часы, в сравнении с аналогичной группой больных проживающих в г. Красноярске. Значения показателей ИВ как за сутки, так и в ночное и дневное время были ниже у жителей Заполярья среднего возраста, больных АГ, в сравнении с группой пожилых жителей Заполярья.

Наибольшее превышение нормативных величин скоростных показателей УД регистрировалось в группе жителей Заполярья с АГ пожилого возраста. Медианы СУП САД и ДАД имели более низкие значения, среди жителей Заполярья среднего возраста, в сравнении с пожилыми, при этом данные показатели превышали референсные величины по обоим параметрам.

Частота измененного суточного ритма АД была высокой во всех исследуемых группах и статистически значимо не различалась, в то время как частота профиля «non-dipper» была значимо выше у жителей Заполярья пожилого возраста. Также отмечалось значительное количество лиц в каждой группе, с суточным профилем «night-peaker».

Список литературы

1. Гапон Л.И., Середа Т.В., Леонтьева А.В. Анализ суточного ритма артериального давления, вариабельности ритма сердца и оценка каротидного атеросклероза у пациентов, страдающих артериальной гипертензией, коренного и пришлого населения, проживающего на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // Кардиология. 2014. Т. 54, №8. С. 32-36. <https://lib.medvestnik.ru/articles/Analiz-sutochnogo-ritma-arterialnogo-davleniya-variabelnosti-ritma-serdca-i-ocenka-karotidnogo-ateroskleroza-u-pacientov-stradaushih-arterialnoi-giper.html>
2. Давыдов Е.Л., Ульянова И.О. Медико-социальные аспекты больных артериальной гипертензией в пожилом возрасте // Клиническая геронтология. 2016. Т. 22, № 9-10. С. 24-25. <https://kg.newdiamed.ru/issue/id15900/id16594>
3. Деревянных Е. В., Яскевич Р. А., Балашова Н. А. Возрастные особенности приверженности к лечению артериальной гипертензии у мужчин г. Красноярск // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №6, часть 1. С 48-52. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9547>
4. Желтышева Ж. А. Показатели суточного мониторинга артериального давления у женщин пожилого возраста в зависимости от массы тела и типа ожирения // Успехи геронтологии. 2012. Т. 25, № 1. С. 175-180.
5. Запесочная И.Л., Автандилов А.Г. Динамика суточного профиля артериального давления при комбинированной терапии амлодипином и валсартаном у жителей Крайнего Севера // Клиническая медицина. 2015. Т.93, №5. С. 43-49.
6. Игнатова И.А., Яскевич Р.А., Шилов С.Н., Покидьшева Л.И. Показатели качества жизни у слабослышащих мигрантов Крайнего Севера в период реадaptации к новым климатическим условиям // Российская оториноларингология. 2013. № 6 (67). С. 66-71.
7. Остроумова О.Д., Борисова Е.В., Остроумова Т.М., Кочетков А.И. Вариабельность артериального давления в течение суток: прогностическое значение, методы оценки и влияние антигипертензивной терапии // Кардиология. 2017. Т. 57, № 12. С. 62-72. <https://doi.org/10.18087/cardio.2017.12.10068>

8. Остроумова О.Д., Кочетков А.И., Черняева М.С. Артериальная гипертензия у пациентов пожилого и старческого возраста в свете новых Европейских рекомендаций 2018 года // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2018. Т.14, №5. С. 774-784. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2018-14-5-774-784>
9. Ройтберг Г.Е., Сланикова И.Д., Платонова О.Е. Контроль эффективности гипотензивной терапии: сопоставление офисных измерений и показателей суточного мониторирования артериального давления // Архив внутренней медицины. 2014. № 6. С. 14-18. <https://www.medarhive.ru/jour/article/view/413>
10. Симоненко В.Б., Соловьева К.Б., Долбин И.В. Суточное мониторирование артериального давления при диспансерном наблюдении пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска в условиях Крайнего Севера // Клиническая медицина. 2013. Т. 91, № 10. С. 38-43.
11. Щербакова Е. М. Население мира по оценкам ООН пересмотра 2019 года // Демоскоп Weekly. 2019. № 821-822. <http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0821/barometer821.pdf>
12. Яскевич Р.А., Каспаров Э.В. Особенности суточного профиля артериального давления у мигрантов Крайнего Севера старших возрастных групп // Клиническая геронтология. 2019. Т. 25, № 9-10. С. 37-39. <https://kg.newdiamed.ru/issue/id99272/id99297>
13. Яскевич Р.А., Хамнагадаев И.И., Деревянных Е.В. и др. Тревожно-депрессивные расстройства у пожилых мигрантов Крайнего Севера в период адаптации к новым климатическим условиям // Успехи геронтологии. 2014. Т. 27, № 4. С. 672-677.
14. Яскевич Р.А., Москаленко О.Л. Особенности вариантов ремоделирования левого желудочка у мужчин мигрантов Крайнего Севера с артериальной гипертензией, различных конституциональных типов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12, № 5. С. 150-164. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-150-164>
15. Nichols M., Townsend N., Scarborough P., Rayner M. Cardiovascular disease in Europe: epidemiological update // Eur. Heart J. 2013. Vol. 34, No 39. P. 3028-3034. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh356>
16. Pierdomenico S.D., Pierdomenico A.M., Cuccurullo F. Morning blood pressure surge, dipping, and risk of ischemic stroke in elderly patients treated for hypertension // Am. J. Hypertens. 2014. Vol. 27, No 4. P. 564-570. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpt170>
17. Polikarpov L.S., Yaskevich R.A., Derevyannich E.V. et al. Re-adaptation of patients with arterial hypertension long-term residents of the Far North to new

- climatic conditions // International Journal of Circumpolar Health. 2013. Vol. 72. Suppl. 1. P. 337-339. <https://www.proquest.com/openview/684ccc92efcbe4a23713e0f684fdf2/1?pq-origsite=gscholar&cbl=236245>
18. Salwa P., Gorczyca-Michta I., Kluk M. et al. Variability of circadian blood pressure profile during 24-hours ABPM among hypertensive patients // *Kardiol. Pol.* 2014. Vol. 72, N 5. P. 432-437. <https://doi.org/10.5603/kp.a2014.0018>
 19. Shurkevich N. P., Vetoshkin A. S., Gapon L. I., Gubin D. G. Structural changes in myocardium and 24-hour blood pressure profile in subjects with arterial hypertension studies during shift work in far north // *European Heart Journal.* 2018. Vol. 39. Suppl. 1. P. 596. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy565.P2853>
 20. Williams B., Mancia G., Spiering W. et al; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH) // *European Heart Journal.* 2018. Vol. 39, N 33. P. 3021-3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
 21. Yaskevich R.A., Khamnagadaev I.I., Derevyannich E.V. et al. Anxiety depressive disorders in elderly migrants of the Far North in the period of readaptation to new climatic conditions // *Advances in Gerontology.* 2015. Vol. 5, N 3. P. 157-162. <https://doi.org/10.1134/S2079057015030145>
 22. Yaskevich R. A., Polikarpov L. S., Gogolashvili N. G. et al. Estimation of the quality of life in elderly migrants of the Far North in the period of readaptation to new climatic conditions // *Advances in Gerontology.* 2014. Vol. 4, N 3. P. 213-217. <https://doi.org/10.1134/S2079057014030126>

References

1. Gapon L. I., Sereda T. V., Leont'eva A. V. Analiz sutochnogo ritma arterial'nogo davleniya, variabel'nosti ritma serdtsa i otsenka karotidnogo ateroskleroza u patsientov, stradayushchikh arterial'noy gipertenziey, korennoy i prishlogo naseleniya, prozhivayushchego na territorii Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga [Analysis of the circadian rhythm of blood pressure, heart rate variability and assessment of carotid atherosclerosis in patients with arterial hypertension, indigenous and newcomers living in the Yamal-Nenets Autonomous Okrug]. *Kardiologiya* [Cardiology], 2014, vol. 54, no. 8, pp. 32-36. <https://lib.medvestnik.ru/articles/Analiz-sutochnogo-ritma-arterialnogo-davleniya-variabelnosti-ritma-serdca-i-ocenka-karotidnogo-ateroskleroza-u-pacientov-stradaushih-arterialnoi-giper.html>
2. Davydov E. L., Ul'yanova I. O. Mediko-sotsial'nye aspekty bol'nykh arterial'noy gipertoniey v pozhilom vozraste [Medical and social aspects of patients

- with arterial hypertension in old age]. *Klinicheskaya gerontologiya* [Clinical gerontology], 2016, vol. 22, no. 9-10, pp. 24-25. <https://kg.newdiamed.ru/issue/id15900/id16594>
3. Derevyannykh E. V., Yaskevich R. A., Balashova N. A. Vozrastnye osobennosti priverzhennosti k lecheniyu arterial'noy gipertonii u muzhchin g. Krasnoyarska [Age characteristics of adherence to the treatment of arterial hypertension in men in Krasnoyarsk]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, no. 6, part 1, pp. 48-52. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9547>
 4. Zheltysheva Zh. A. Pokazateli sutochnogo monitorirovaniya arterial'nogo davleniya u zhenshchin pozhilogo vozrasta v zavisimosti ot massy tela i tipa ozhireniya [Indicators of daily monitoring of blood pressure in elderly women, depending on body weight and type of obesity]. *Uspekhi gerontologii* [Advances in gerontology], 2012, vol. 25, no. 1, pp. 175-180.
 5. Zapesoch'naya I. L., Avtandilov A. G. Dinamika sutochnogo profilya arterial'nogo davleniya pri kombinirovannoy terapii amlodipinom i valsartanom u zhiteley Kraynego Severa [Dynamics of the daily blood pressure profile during combined therapy with amlodipine and valsartan in residents of the Far North]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical Medicine], 2015, vol. 93, no. 5, pp. 43-49.
 6. Ignatova I.A., Yaskevich R.A., Shilov S.N., Pokidysheva L.I. Pokazateli kachestva zhizni u slaboslyshashchikh migrantov Kraynego Severa v period readaptatsii k novym klimaticheskim usloviyam [Indicators of the quality of life in hearing impaired migrants of the Far North during the period of readaptation to new climatic conditions]. *Rossiyskaya otorinolaringologiya* [Russian otorhinolaryngology], 2013, no. 6(67), pp. 66-71.
 7. Ostroumova O. D., Borisova E. V., Ostroumova T. M., Kochetkov A. I. Variabel'nost' arterial'nogo davleniya v techenie sutok: prognosticheskoe znachenie, metody otsenki i vliyaniye antigipertenzivnoy terapii [Variability of blood pressure during the day: prognostic value, assessment methods and the effect of antihypertensive therapy]. *Kardiologiya* [Cardiology], 2017, vol. 57, no. 12, pp. 62-72. <https://doi.org/10.18087/cardio.2017.12.10068>
 8. Ostroumova O. D., Kochetkov A. I., Chernyaeva M. S. Arterial'naya gipertenziya u patsientov pozhilogo i starycheskogo vozrasta v svete novykh Evropeyskikh rekomendatsiy 2018 goda [Arterial hypertension in elderly and senile patients in the light of the new European recommendations of 2018]. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*, 2018, vol. 14, pp. 5, pp. 774-784. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2018-14-5-774-784>
 9. Roytberg G.E., Slastnikova I.D., Platonova O.E. Kontrol' effektivnosti gipertenzivnoy terapii: sopostavlenie ofisnykh izmereniy i pokazateley sutochnogo

- monitorirovaniya arterial'nogo davleniya [Monitoring the effectiveness of antihypertensive therapy: comparison of office measurements and indicators of daily monitoring of blood pressure]. *Arkhiv vnutrenney meditsiny* [Archives of Internal Medicine], 2014, no. 6, pp. 14-18. <https://www.medarhive.ru/jour/article/view/413>
10. Simonenko V. B., Solov'eva K. B., Dolbin I. V. Sutochnoe monitorirovanie arterial'nogo davleniya pri dispansernom nablyudenii patsientov s faktorami serdechno-sosudistogo riska v usloviyakh Kraynego Severa [Daily monitoring of blood pressure during dispensary observation of patients with cardiovascular risk factors in the Far North]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical Medicine], 2013, vol. 91, no. 10, pp. 38-43.
 11. Shcherbakova E. M. Naselenie mira po otsenkam OON peresmotra 2019 goda [World population according to UN estimates of the 2019 revision]. *Demoskop Weekly* [Demoscope Weekly], 2019, no. 821-822. <http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0821/barometer821.pdf>
 12. Yaskevich R.A., Kasparov E.V. Osobennosti sutochnogo profilya arterial'nogo davleniya u migrantov Kraynego Severa starshikh vozrastnykh grupp [Features of the daily blood pressure profile in migrants of the Far North of older age groups]. *Klinicheskaya gerontologiya* [Clinical Gerontology], 2019, vol. 25, no. 9-10, pp. 37-39. <https://kg.newdiamed.ru/issue/id99272/id99297>
 13. Yaskevich R.A., Khamnagadaev I.I., Derevyannykh E.V. i dr. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u pozhilykh migrantov Kraynego Severa v period readaptatsii k novym klimaticheskim usloviyam [Anxiety-depressive disorders in elderly migrants of the Far North during the period of readaptation to new climatic conditions]. *Uspekhi gerontologii* [Advances in gerontology], 2014, vol. 27, no. 4, pp. 672-677.
 14. Yaskevich R.A., Moskalenko O.L. Osobennosti variantov remodelirovaniya levogo zheludochka u muzhchin migrantov Kraynego Severa s arterial'noy gipertoniey, razlichnykh konstitutsional'nykh tipov [Features of left ventricular remodeling options in male migrants of the Far North with arterial hypertension, various constitutional types]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 150-164. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-150-164>
 15. Nichols M., Townsend N., Scarborough P., Rayner M. Cardiovascular disease in Europe: epidemiological update. *Eur. Heart J.*, 2013, vol. 34, no. 39, pp. 3028-3034. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh356>
 16. Pierdomenico S. D., Pierdomenico A. M., Cuccurullo F. Morning blood pressure surge, dipping, and risk of ischemic stroke in elderly patients treated for

- hypertension. *Am. J. Hypertens.*, 2014, vol. 27, no. 4, pp. 564-570. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpt170>
17. Polikarpov L. S., Yaskevich R. A., Derevyannich E. V. et al. Re-adaptation of patients with arterial hypertension long-term residents of the Far North to new climatic conditions. *International Journal of Circumpolar Health*, 2013, vol. 72, suppl. 1, pp. 337-339. <https://www.proquest.com/openview/684ccc92efcb-cbe4a23713e0f684fdf2/1?pq-origsite=gscholar&cbl=236245>
 18. Salwa P., Gorczyca-Michta I., Kluk M. et al. Variability of circadian blood pressure profile during 24-hours ABPM among hypertensive patients. *Kardiol. Pol.*, 2014, vol. 72, no. 5, pp. 432-437. <https://doi.org/10.5603/kp.a2014.0018>
 19. Shurkevich N. P., Vetoshkin A. S., Gapon L. I., Gubin D. G. Structural changes in myocardium and 24-hour blood pressure profile in subjects with arterial hypertension studies during shift work in far north. *European Heart Journal*, 2018, vol. 39, suppl. 1, pp. 596. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy565.P2853>
 20. Williams B., Mancia G., Spiering W. et al. ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). *European Heart Journal*, 2018, vol. 39, no. 33, pp. 3021-3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
 21. Yaskevich R.A., Khamnagadaev I.I., Derevyannich E.V. et al. Anxiety depressive disorders in elderly migrants of the Far North in the period of readaptation to new climatic conditions. *Advances in Gerontology*, 2015, vol. 5, no. 3, pp. 157-162. <https://doi.org/10.1134/S2079057015030145>
 22. Yaskevich R. A., Polikarpov L. S., Gogolashvili N. G. et al. Estimation of the quality of life in elderly migrants of the Far North in the period of readaptation to new climatic conditions. *Advances in Gerontology*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 213-217. <https://doi.org/10.1134/S2079057014030126>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Яскевич Роман Анатольевич доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней и терапии, ведущий научный сотрудник группы патологии сердечно-сосудистой системы, кандидат медицинских наук, доцент *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «КрасГМУ им. проф. Ф.В. Войно-Ясенецкого» МЗ РФ*

ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация; ул. Партизана Железняка, 1а, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
cardio@impn.ru

Москаленко Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера»
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
gre-ll@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman A. Yaskevich, Associate Professor at Department of Propedeutics of Internal Diseases and Therapy, Leading Researcher of the Group Pathology of the Cardiovascular System, Candidate of Medical Science, Docent *Scientific Research Institute of medical problems of the North; Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voino-Yasenezkiy*
3g, P. Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation; 1a, P. Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
cardio@impn.ru

Olga L. Moskalenko, Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences
Scientific Research Institute of medical problems of the North
3g, P. Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
gre-ll@mail.ru

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

INTERNAL MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-29-45

УДК 616.24-002-036.88-06:578.834.1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕТАЛЬНОСТИ ПРИ ПНЕВМОНИЯХ, ВЫЗВАННЫХ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ

*А.Е. Шкляев, А.С. Лялина, А.А. Хамадуллин,
А.В. Шабельник, С.В. Ильин*

Обоснование. Истинные причины летальности и факторы риска при пневмонии, вызванной COVID-19, требуют детального анализа.

Цель: уточнить факторы риска летального исхода при пневмонии, вызванной вирусом SARS-CoV-2.

Материалы и методы. Обследовано 196 пациентов с пневмонией коронавирусной этиологии. Группу наблюдения составили 68 больных с летальным исходом, группу сравнения – 128 пациентов, выписанных с улучшением. Оценка значимости факторов риска летального исхода проводилась с помощью определения величины относительного риска и этиологической фракции. Результаты исследования подверглись статистической обработке с вычислением средних величин, ошибок средних величин, критерия достоверности показателей Стьюдента (t).

Результаты. Вероятность летального исхода у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19, повышается при увеличении возраста пациентов, у проживающих в городе, при длительном сохранении лихорадочного синдрома, необходимости повторной госпитализации и перевода в реанимационное отделение, большом объеме поражения. Увеличивают риск летального исхода дыхательная недостаточность III степени, почечная недостаточность, плеврит, токсическое поражение печени, гематомы различной локализации. Усугубляют течение инфекции COVID-19 хроническая сердечная недостаточность, ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет, хроническая об-

структивная болезнь легких. Лабораторными предикторами неблагоприятного исхода являются цитопении (лимфопения, тромбоцитопения, анемия), значительное повышение СОЭ, СРБ, Д-димера.

Заключение. Своевременное выявление и учет факторов риска летального исхода позволят корректировать объем лечебных мероприятий с целью улучшения прогноза для жизни пациентов с COVID-19-ассоциированной пневмонией.

Ключевые слова: новая коронавирусная инфекция; пневмония; летальность

Для цитирования. Шкляев А.Е., Лялина А.С., Хамадуллин А.А., Шабельник А.В., Ильин С.В. Характеристика летальности при пневмониях, вызванных новой коронавирусной инфекцией // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 29-45. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-29-45

CHARACTERISTIC OF MORTALITY IN PNEUMONIA CAUSED BY NEW CORONAVIRAL INFECTION

*A.E. Shklyayev, A.S. Lyalina, A.A. Khamadullin,
A.V. Shabelnik, S.V. Ilyin*

Background. The true causes of mortality and risk factors for pneumonia caused by COVID-19 require detailed analysis.

Purpose: to clarify the risk factors for death in pneumonia caused by the SARS-CoV-2 virus.

Materials and methods. A total of 196 patients with pneumonia of coronavirus etiology were examined. The observation group consisted of 68 patients with a lethal outcome, the comparison group consisted of 128 patients discharged with improvement. The assessment of the significance of risk factors for death was carried out by determining the magnitude of the relative risk and the etiological fraction. The results of the study were subjected to statistical processing with the calculation of the mean values, errors of the mean values, the criterion of reliability of the Student's indicators (*t*).

Results. The likelihood of death in patients with pneumonia caused by COVID-19 increases with increasing age of patients, living in the city, with prolonged persistence of febrile syndrome, the need for re-hospitalization and transfer to the intensive care unit, and a large amount of damage. Respiratory failure of the III degree, renal failure, pleurisy, toxic liver damage, hematomas of various localization increase the risk of death. The course of COVID-19 infection is aggravated by chronic heart failure, coronary heart disease, diabetes mellitus, and chronic obstructive pulmonary disease. Laboratory predictors of an unfavorable outcome

are cytopenia (lymphopenia, thrombocytopenia, anemia), a significant increase in ESR, CRP, D-dimer.

Conclusion. *Timely identification and consideration of risk factors for death will make it possible to adjust the volume of treatment measures in order to improve the prognosis for the life of patients with COVID-19-associated pneumonia.*

Key words: *new coronavirus infection; pneumonia; mortality*

For citation. *Shklyayev A.E., Lyalina A.S., Khamadullin A.A., Shabelnik A.V., Ilyin S.V. Characteristic of mortality in pneumonia caused by new coronaviral infection. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 29-45. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-29-45*

Введение

Этиология COVID-19 была установлена в течение первого месяца после появления 08.12.2019 г. в г. Ухань, столице провинции Хубэй на востоке центральной части Китая, первого официально зарегистрированного случая пневмонии неясной этиологии [17, 21]. Клиническая картина COVID-19 определяется как ОРЗ с рядом возможных осложнений, наиболее опасным из которых является первичная вирусная пневмония [16], развивающаяся уже при среднетяжелом течении болезни [9]. Летальность при COVID-19 пропорциональна возрасту пациентов: от 0% у детей до 9 лет до 14,8% у людей старше 80 лет [10].

Демографическая ситуация в Удмуртской Республике характеризуется ростом уровня смертности с 1188,0 на 100 тысяч населения в 2019 году до 1410,8 на 100 тысяч в 2020 году. Максимальный вклад в ухудшение данного показателя внесли болезни органов дыхания, продемонстрировав увеличение за год с 37,7 до 57,0 на 100 тысяч населения (с 3,2% до 4,0% в структуре общей смертности). Смертность от новой коронавирусной инфекции составила 56,6 на 100 тысяч населения (4,0% от общей смертности) [7]. Несмотря на огромную научную и практическую значимость для мирового здравоохранения новой коронавирусной инфекции, стремительный рост числа исследований, до сих пор остается множество нерешенных вопросов, в том числе касающихся истинной летальности [5]. Обязательным условием для уменьшения показателей смертности является углубленный анализ ее возможных причин, позволяющий повысить эффективность диагностики и лечения [1, 13]. Важное значение также придается разработке методов прогнозирования исходов заболевания [8, 12].

Цель работы: уточнить факторы риска летального исхода при пневмонии, вызванной вирусом SARS-CoV-2.

Материалы и методы

Проведен анализ анамнестических, физикальных и лабораторно-инструментальных данных 196 пациентов с пневмонией коронавирусной этиологии. Группу наблюдения составили 68 больных с летальным исходом, группу сравнения - 128 пациентов, выписанных с улучшением. Все обследованные проходили лечение в инфекционных отделениях БУЗ УР «ГКБ№8 им. Однопозова И.Б. МЗ УР» в 2020-2021 годах. Анализировалась сопутствующая патология, количество вовлеченных в патологический процесс сегментов легких, общий и биохимический анализы крови, данные компьютерной томографии органов грудной клетки.

Оценка значимости факторов риска проводилась с помощью определения величины относительного риска (ОР), который характеризует связь между воздействием и патологией. Чем больше величина ОР, тем важнее этиологическая и патогенетическая роль рассматриваемого влияния в возникновении патологии. Определялась также этиологическая фракция (ЭФ), выражающая долю случаев в экспонированной группе, которая вызвана изучаемым воздействием при допущении существования причинной связи.

Результаты исследования подверглись статистической обработке с вычислением средних величин, ошибок средних величин, критерия достоверности показателей Стьюдента (t). При проведении теста нормальности Колмогорова-Смирнова, определении критерия Шапиро-Уилка, построении нормально-вероятностных графиков и графического теста «Ящичная диаграмма» было определено, что гипотеза нормальности не отклоняется.

Результаты и обсуждение. Среди обследованных было 94 мужчины и 102 женщины. Средний возраст в группе наблюдения составил $49,3 \pm 3,6$ лет, в группе сравнения – $68,6 \pm 3,3$ лет, то есть преобладали люди трудоспособного возраста. Анализ социального статуса пациентов показал, что вероятность неблагоприятного исхода высока как у пенсионеров (ЭФ=12,3%), так и у работающего населения (ЭФ=334,8%), у жителей города выше (ЭФ=46,7%) в сравнении с проживающими в сельской местности (ЭФ= -14,2%). Очевидно, такая структура летальности связана с преимущественным распространением новой коронавирусной инфекции в данных возрастных и социальных группах [15].

Среди всех заболевших 44,8% – курили (ЭФ=7,6%). Среднее количество проведенных в стационаре дней составило $26,3 \pm 4,7$ в группе наблюдения, $15 \pm 2,4$ дней – в группе сравнения. Наиболее частая продолжительность госпитализации – 12 дней (26,3% пациентов). Повторная госпитализация

наблюдалась у 59 пациентов, что составило 30,1% от общего числа пациентов и 76,4% – в группе наблюдения. Третья госпитализация наблюдалась у 10,2% от общего числа, все пациенты госпитализированные в третий раз имели летальный исход. Неблагоприятное влияние поздней обращаемости на течение COVID-19 подтверждено данными Центрального НИИ эпидемиологии Роспотребнадзора [15]. Температура тела у больных при поступлении составила $38,7 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ в группе сравнения, её нормализация происходила на 2-3 день пребывания в стационаре. В группе наблюдения температура при поступлении – $39,7 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, её снижение до нормальных величин происходило лишь на 9 сутки пребывания в стационаре.

В большинстве наблюдений основным морфологическим субстратом COVID-19 является диффузное альвеолярное повреждение [3]. У больных с поражением легких более 75,0% ($\text{ЭФ}=82,4\%$) вероятность неблагоприятного исхода выше. В группе наблюдения у 34 человек (50,0%) объем поражения легких составил более 75,0%, пациентов с минимальным поражением легких не было. В группе сравнения у 64 человек (50,0%) поражение легких составило 25-50%, у 32 человек (25,0%) – до 25,0%, у 26 человек (20,3%) – 50-75%, у 6 человек (4,7%) – более 75,0% (табл. 1). Стоит отметить, что при поступлении и выписке объем поражения легочной ткани значительно отличался, у 35,6% от общего числа госпитализированных пациентов отмечена тенденция к ухудшению картины по результатам компьютерной томографии (КТ) вне зависимости от клинической картины. Также можно отметить, что клинические проявления отстают от динамики КТ-картины.

Таблица 1.

Объем вовлеченной в патологический процесс легочной ткани

Объем поражения легочной ткани, %	Группа наблюдения, чел.	Группа сравнения, чел.	p	χ^2	Относительный риск	Этиологическая фракция, %
КТ1 (не более 25)	0	32 (25,0%)	0,005	14,069	0,25	-300,0
КТ2 (25-50)	12 (17,6%)	64 (50,0%)	0,027	25,065	0,19	- 426,3
КТ3 (50-75)	22 (32,6%)	26 (20,3%)	0,015	48,684	0,85	17,6
КТ4 (более 75)	34 (50,0%)	6 (4,7%)	0,009	58,410	5,67	82,4

В процессе стационарного лечения 100% пациентов группы наблюдения и 3,1% группы сравнения в связи с ухудшением состояния были переведены в реанимационное отделение.

Из осложнений наиболее часто встречались дыхательная недостаточность разной степени и гематомы различной локализации. Выраженные изменения свертывающей системы (в виде тромбозов и кровотечений) у пациентов, инфицированных SARS-CoV-2, подтверждаются данными других исследователей [2, 20]. Также зафиксированы токсический гепатит, инфекционно-токсический (септический) шок, нефропатия. Максимально увеличивался риск летального исхода при дыхательной недостаточности (ДН) III степени, почечной недостаточности, плеврите, токсическом поражении печени, гематомах (табл. 2).

Таблица 2.

Частота осложнений и их значимость для исхода при пневмониях

Осложнения	Группа наблюдения, чел. (%)	Группа сравнения, чел. (%)	p	χ^2	Относительный риск	Этиологическая фракция, %
Плеврит	6 (8,8%)	2 (1,6%)	0,063	2,78	3,00	66,7
Гематомы	35 (51,4%)	4 (3,1%)	0,034	17,813	8,75	88,6
Токсический гепатит	4 (5,9%)	1 (0,8%)	0,047	10,506	4,00	75,0
Кровохарканье	2 (2,9%)	2 (1,6%)	0,079	1,69	1,00	-100,0
Инфекционно-токсический шок	2 (2,9%)	1 (0,8%)	0,048	7,099	2,00	50,0
Почечная недостаточность	54 (79,4%)	1 (0,8%)	0,041	11,160	54,00	98,1
ДНО	0	56 (43,8%)	0,018	98,011	0,37	-440,5
ДН I	0	13 (10,2%)	0,041	11,891	0,23	-256,7
ДН II	0	15 (11,7%)	0,035	18,478	0,26	-284,6
ДН III	68 (100,0%)	0	0,029	63,174	68,00	98,5

При анализе сопутствующих заболеваний чаще встречались сахарный диабет (55,8% в группе наблюдения и 7,8% в группе сравнения), ишемическая болезнь сердца (61,7% и 7,0%, соответственно). Согласно расчетам ЭФ усугубляет течение новой коронавирусной инфекции и является фактором риска летального исхода следующая сопутствующая патология: хроническая сердечная недостаточность разной степени (ХСН) (ЭФ – 83,3%), ишемическая болезнь сердца (ЭФ – 78,3%), сахарный диабет (ЭФ – 73,7%),

хроническая обструктивная болезнь легких (ЭФ – 50,0%). Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов. Так, показана возможность вирусного поражения миокарда при инфекции COVID-19, что ведет к декомпенсации исходно имевшейся ХСН [4]. Наличие тяжелых сердечно-сосудистых заболеваний, так же как и возраст, является независимым предиктором высокой летальности [22, 23]. Частота тяжелой коморбидной патологии ожидаемо выше в более старших возрастных группах [18].

Картина периферической крови при тяжелом течении COVID-19 характеризуется лейкопенией, которая в большинстве случаев (82,0%) сопровождается лимфопенией и тромбоцитопенией (36,0%) [11]. По результатам полного анализа крови при поступлении все пациенты имели выраженную лимфопению (82,4%), у 35,3% обнаружена тромбоцитопения, у 34,8% – лейкопения, при этом у 2,8% пациентов наблюдался лейкоцитоз до $18,4 \pm 3,2 \times 10^9/\text{л}$. В группе наблюдения и соответственно более тяжелого течения заболевания эти нарушения оказались более выраженными, чем в группе сравнения (97,2% против 81,5% – лимфопения, 58,8% против 30,5% – тромбоцитопения, 62,2% против 27,0% – лейкопения) (табл. 3). Развитие двух-, трехростковой цитопении отражает прогрессирование синдрома активации макрофагов [3], а лимфопения является предиктором ухудшения состояния больного с вероятностью летального исхода [19]. Следует отметить характерность анемии для пациентов с неблагоприятным исходом пневмонии, вызванной COVID-19, что свойственно и для пневмоний бактериальной этиологии [6].

Таблица 3.

Показатели полного анализа крови, $M \pm m$

Показатели	Группа наблюдения (n=68)	Группа сравнения (n=128)	P	t между группами
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$	$3,9 \pm 0,4$ $4,3 \pm 0,2$	$4,32 \pm 0,2$ $4,84 \pm 0,3$	0,089 0,096	1,2 1,8
Гемоглобин, г/л	$108,0 \pm 7,1$ $114,3 \pm 2,8$	$139,6 \pm 3,2$ $146,7 \pm 13,2$	0,00079 0,00051	6,4** 19,0**
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$	$114,5 \pm 21,4$ $166,7 \pm 12,9$	$148,3 \pm 17,7$ $276,9 \pm 12,5$	0,091 0,00084	1,22 6,16**
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	$2,1 \pm 1,1$ $1,9 \pm 2,1$	$3,9 \pm 0,7$ $4,2 \pm 0,1$	0,075 0,096	1,38 1,09
Лимфоциты, %	$8,7 \pm 2,1$	$16,3 \pm 3,2$	0,050	2,0*
СОЭ, мм/час	$60,6 \pm 7,2$	$34,7 \pm 2,5$	0,001	3,4**

Примечание: в числителе показатели для мужчин, в знаменателе – для женщин; * – отличие статистически значимо с вероятностью 95,0%; ** – отличие статистически значимо с вероятностью 99,9%.

Анализ результатов биохимических исследований выявил следующие данные: С-реактивный белок (СРБ) был повышен у 61,3% пациентов, повышенный прокальцитонин, являющийся маркером вторичной бактериальной инфекции, осложняющей течение COVID-19, был обнаружен у 5,6%, а повышенная лактатдегидрогеназа (ЛДГ) – у 43,3% пациентов. У пациентов группы наблюдения по сравнению с группой сравнения их значения составили: 80,8% против 55,4% для СРБ; 16,1% против 3,9% для прокальцитонина; 58,8% против 36,7% для ЛДГ. Также отмечалось незначительное увеличение активности аланинаминотрансферазы (АЛТ) – у 29,4% и 17,9%, аспартатаминотрансферазы (АСТ) – у 38,2% и 8,5% пациентов, соответственно. Содержание общего билирубина в сыворотке крови повышалось у 19,1% и 3,1%, креатинина – у 5,8% и 1,6% больных, снижение уровня общего белка у 5,8% и 1,6%, соответственно. Содержание калия, натрия и хлора в обеих группах находилось в пределах нормы, статистически значимых различий между группами не выявлено. Гипергликемия закономерно отмечалась на фоне применения глюкокортикостероидов (таб. 4).

Таблица 4.

Показатели биохимического анализа крови, М±m

Показатели	Группа наблюдения (n=10)	Группа сравнения (n=74)	p	t между группами
АСТ, ед/л	31,8±4,2	28,1±2,7	0,110	0,75
АЛТ, ед/л	48,2±13,3	21,1±2,0	0,050	2,02*
Глюкоза, ммоль/л	6,9±0,9	6,1±0,2	0,130	0,86
Креатинин, мкмоль/л	127,4±36,2	101,4±14,1	0,960	0,67
С-реактивный белок, мг/л	289,0±33,4	64,3±11,4	0,00087	6,38**
Фибриноген, г/л	3,9±0,9	2,8±0,7	0,082	0,96
Хлориды, ммоль/л	102,3±1,4	99,9±1,9	0,081	1,01
Натрий, ммоль/л	138,9±2,2	141,1±1,2	0,126	0,88
Калий, ммоль/л	4,6±0,4	4,2±1,3	0,435	0,29
ЛДГ, ед/л	354,9±32,6	267,5±12,8	0,043	2,49*
Прокальцитонин, нг/мл	4,8±1,7	1,1±0,8	0,058	1,97
Общий билирубин, мкмоль/л	19,2±3,2	26,2±2,2	0,063	1,84
Д-димер, мг/мл	1,1±0,4	0,3±0,2	0,050	2,00*
Общий белок, г/л	59,9±4,3	65,3±3,8	0,082	0,95

Примечание: * – отличие статистически значимо с вероятностью 95,0%; ** – отличие статистически значимо с вероятностью 99,9%.

Нарушения свертывания крови встречаются довольно часто среди пациентов при тяжелом течении патологии внутренних органов, выступая в качестве предикторов неблагоприятного исхода [14]. По данным нашего исследования у 91 (46,4%) из 196 обследованных пациентов с пневмонией, вызванной новой коронавирусной инфекцией, обнаружился повышенный уровень D-димера ($\geq 0,5$ мг/л). У больных группы наблюдения частота его повышения была существенно выше: 58,8% против 42,9% в группе сравнения. Динамика уровня D-димера может отражать изменение тяжести заболевания, а повышенный уровень позволяет прогнозировать неблагоприятный исход. Значения D-димера выше 1,5 мкг/л были зафиксированы у 25% пациентов группы наблюдения.

Заключение

Сопоставление клинико-лабораторных и инструментальных данных пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19, с учетом исхода заболевания позволило уточнить факторы риска летальности. Вероятность неблагоприятного исхода повышается при увеличении возраста пациентов, а также у проживающих в городе. Маркерами тяжелого течения болезни выступают длительное сохранение лихорадочного синдрома, необходимость повторной госпитализации и перевода в реанимационное отделение, большой объем вовлеченной в патологический процесс легочной ткани (более 75% по КТ). Максимально увеличивают риск летального исхода такие осложнения коронавирусной пневмонии как дыхательная недостаточность III степени, почечная недостаточность, плеврит, токсическое поражение печени, гематомы различной локализации. Существенно усугубляет течение инфекции COVID-19 следующая сопутствующая патология: хроническая сердечная недостаточность, ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет, хроническая обструктивная болезнь легких. Лабораторными критериями, определяющими неблагоприятный исход при пневмонии, вызванной новой коронавирусной инфекцией, являются цитопения (лимфопения, тромбоцитопения, анемия), значительное повышение СОЭ, СРБ, D-димера. Своевременное выявление и учет указанных факторов риска дают возможность скорректировать объем лечебных мероприятий с целью улучшения прогноза для жизни пациентов с COVID-19-ассоциированной пневмонией.

Список литературы

1. Анализ летальных исходов от пневмонии в медицинских организациях Удмуртской Республики / Шкляев А.Е., Казарин Д.Д., Муравцева О.В.,

- Стародубцева О.И. // Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. 2019. №3. С. 5-9.
2. Базыкина Е.А., Троценко О.Е. Особенности пневмоний, вызванных новым коронавирусом SARS-COV-2 (обзор литературы) // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020. №78. С. 135-146. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-78-135-146>
 3. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 11 (07.05.2021)». Москва, 2021. 225 с. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=392173>
 4. Кардиальное повреждение у пациентов с коронавирусной инфекцией COVID-19. Потешкина Н.Г., Лысенко М. А., Ковалевская Е.А., Фомина Д.С., Самсонова И.В., Паршин В.В., Манченко О.В., Евсюков О.Ю. // Артериальная гипертензия. 2020. №26 (3). С. 277-287. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2020-26-3-277-287>
 5. Малинникова Е.Ю. Новая коронавирусная инфекция. Сегодняшний взгляд на пандемию XXI века // Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение. 2020. Т. 9, № 2 (33). С. 18-32. <https://doi.org/10.33029/2305-3496-2020-9-2-18-32>
 6. Никитин Ю.Е., Никитин Е.Н., Шкляев А.Е. Клиническое значение гепцидина при внебольничной пневмонии, осложненной анемией // Практическая медицина. 2014. №3(79). С. 162-167. <http://pmarchive.ru/klinicheskoe-znachenie-gepcidina-pri-vnebolnichnoj-pnevmonii-oslozhnennoj-anemiej/>
 7. Основные показатели здоровья населения и эффективности использования ресурсов в системе здравоохранения Удмуртской Республики за 2020 г. (по предварительным статистическим данным). Ижевск, 2021. 43 с. http://rmiac.udmmed.ru/inform-analit_materialy/
 8. Оценка факторов риска сверхранных преждевременных родов / Шкляев А.Е., Семёнова М.В., Лялина А.С., Максимов И.Е. // Вестник Авиценны. 2019. №1. С. 26-32. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2019-21-1-26-32>
 9. Патоморфология новой коронавирусной инфекции COVID-19 / Лобанова О.А., Трусова Д.С., Руденко Е.Е., Проценко Д.Д., Коган Е.А. // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2020. Т. 35, № 3. С. 47-52. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-3-47-52>
 10. Романов Б.К. Коронавирусная инфекция covid-2019 // Безопасность и риск фармакотерапии. 2020. Т.8, № 1. С. 3-8. <https://doi.org/10.30895/2312-7821-2020-8-1-3-8>
 11. Справочник по профилактике и лечению COVID-19. Под ред. Т. Лян. Ханчжоу: Изд-во Чжэцзянского университета, 2020. 68 с. <http://education>.

- almazovcentre.ru/wp-content/uploads/2020/03/Spravochnik_po_profilaktike_i_lecheniju_COVID_19.pdf
12. Факторы риска летального исхода при заболеваниях печени (ретроспективный и проспективный анализ) / Шкляев А.Е., Малахова И.Г., Горбунов Ю.В., Коварина Ж.А., Рачихина А.Н. // Практическая медицина. 2014. №1(77). С. 74-77.
 13. Шкляев А.Е., Малахова И.Г. Летальные исходы от патологии органов пищеварения в ЛПУ Удмуртской Республики: анализ за 2005-2010 годы // Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. 2012. №1. С. 33-36.
 14. Шкляев А.Е., Малахова И.Г. Прогностическое значение показателей гемостаза при заболеваниях печени // Тромбоз, гемостаз и реология. 2016. №3(67). С. 462-464.
 15. Эпидемический процесс COVID-19 в Российской Федерации: промежуточные итоги. Сообщение 1. / Пшеничная Н.Ю., Лизинфельд И.А., Журавлёв Г.Ю., Плоскирева А.А., Акимкин В.Г. // Инфекционные болезни. 2020. №18(3). С. 7-14. <https://doi.org/10.20953/1729-9225-2020-3-7-14>
 16. COVID-19: этиология, клиника, лечение / Щелканов М.Ю., Колобухина Л.В., Бургасова О.А., Кружкова И.С., Малеев В.В. // Инфекция и иммунитет. 2020. Т. 10, № 3. С. 421-445. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-CEC-1473>
 17. Chen N., Zhou M., Dong X., Qu J., Gong F., Han Y., Qiu Y., Wang J., Liu Y., Wei Y., Xia J., Yu T., Zhang X., Zhang L. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study // *Lancet*, 2020, vol. 395, pp. 507-513. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30211-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30211-7)
 18. Chen T., Wu D., Chen H., Yan W., Yang D., Chen G. et al. Clinical characteristics of 113 deceased patients with coronavirus disease 2019: retrospective study // *Br. Med. J.* 2020, №1091 (March): m1091. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1091>
 19. Henderson L.A., Canna S.W., Schulert G.S., Volpi S., Lee P.Y., Kernan K.F. et al. On the alert for cytokine storm: immunopathology in COVID-19 // *Arthritis Rheum.* 2020. <https://doi.org/10.1002/art.41285>
 20. Porfidia A., Pola R. Venous thromboembolism in COVID-19 patients. *J. Thromb. Haemost.* 2020, vol.18(6), pp. 1516-1517. <https://doi.org/10.1111/jth.14842>
 21. Ryu S., Chun B.C. An interim review of the epidemiological characteristics of 2019 novel coronavirus. *Epidemiol. Health.*, 2020, vol. 42: e2020006. <https://doi.org/10.4178/epih.e2020006>
 22. The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavi-

- rus Diseases (COVID-19). - China, 2020. China CDC Weekly. 2020, vol. 2(8), pp. 113-22.
23. Wang L., He W., Yu X., Hu D., Bao M., Liu H. et al. Coronavirus Disease 2019 in elderly patients: characteristics and prognostic factors based on 4-week follow-up // J. Infection. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.019>

References

1. Shklyayev A.E., Kazarin D.D., Muravtseva O.V., Starodubtseva O.I. Analiz letal'nyh iskhodov ot pnevmonii v medicinskih organizatsiyah Udmurtskoj Respubliki [Analysis of lethal outcomes from pneumonia in medical organizations of the Udmurt Republic]. *Zdorov'e, demografiya, ekologiya finno-ugorskih narodov* [Health, demography, ecology of the Finno-Ugric peoples], 2019, no. 3, pp. 5-9.
2. Bazykina E.A., Trotsenko O.E. Osobennosti pnevmonij, vyzvannyh novym koronavirusom SARS-COV-2 (obzor literatury) [Features of pneumonia caused by the new coronavirus SARS-COV-2 (literature review)]. *Byulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* [Bulletin of Respiratory Physiology and Pathology], 2020, no. 78, pp. 135-146. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-78-135-146>
3. *Vremennyye metodicheskie rekomendatsii «Profilaktika, diagnostika i lechenie novej koronavirusnoj infekcii (COVID-19). Versiya II (07.05.2021)»* [Interim guidelines "Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 11 (05/07/2021)"]. Moscow, 2021, 225 p. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=392173>
4. Poteshkina N.G., Lysenko M.A., Kovalevskaya E.A., Fomina D.S., Samsonova I.V., Parshin V.V., Manchenko O.V., Evsyukov O.Yu. Kardial'noe povrezhdenie u pacientov s koronavirusnoj infekciej COVID-19 [Cardiac injury in patients with coronavirus infection COVID-19]. *Arterial'naya gipertenziya* [Arterial hypertension], 2020, no. 26(3), pp. 277-287. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2020-26-3-277-287>
5. Malinnikova E.Yu. Novaya koronavirusnaya infekciya. Segodnyashnij vzglyad na pandemiyu XXI veka [New coronavirus infection. Today's look at the pandemic of the XXI century]. *Infekcionnye bolezni: Novosti. Mneniya. Obuchenie*. [Infectious Diseases: News. Opinions. Training.], 2020, vol. 9, no. 2(33), pp. 18-32. <https://doi.org/10.33029/2305-3496-2020-9-2-18-32>
6. Nikitin Yu.E., Nikitin E.N., Shklyayev A.E. Klinicheskoe znachenie gepcidina pri vnebol'nichnoj pnevmonii, oslozhnennoj anemiej [Clinical significance of hepcidin in community-acquired pneumonia complicated by anemia]. *Prakticheskaya medicina* [Practical Medicine], 2014, no. 3(79), pp. 162-167. <http://>

- pmarchive.ru/klinicheskoe-znachenie-gepcidina-pri-vnebolnichnoj-pnevmonii-oslozhnennoj-anemiej/
7. Osnovnye pokazateli zdorov'ya naseleniya i effektivnosti ispol'zovaniya resursov v sisteme zdravoohraneniya Udmurtskoj Respubliki za 2020 g. (po predvaritel'nym statisticheskim dannym) [Main indicators of population health and efficiency of resource use in the health care system of the Udmurt Republic for 2020 (according to preliminary statistics)]. Izhevsk, 2021, 43 p. http://rmiac.udmmed.ru/inform-analit_material/
 8. Shklyaev A.E., Semenova M.V., Lyalina A.S., Maksimov I.Ye. Ocenka faktorov riska sverhkrannykh prezhdvremennykh rodov [Assessment of risk factors for very early preterm labor]. *Vestnik Avicenny* [Bulletin of Avicenna], 2019, no. 1, pp. 26-32. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2019-21-1-26-32>
 9. Lobanova O.A., Trusova D.S., Rudenko E.E., Protsenko D.D., Kogan E.A. Patomorfologiya novoj koronavirusnoj infekcii COVID-19 [Pathomorphology of a new coronavirus infection COVID-19]. *Sibirskij zhurnal klinicheskoy i eksperimental'noj mediciny* [Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine], 2020, vol. 35, no. 3, pp. 47-52. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-3-47-52>
 10. Romanov B.K. Koronavirusnaya infekciya covid-2019 [Coronavirus infection covid-2019]. *Bezopasnost' i risk farmakoterapii* [Safety and risk of pharmacotherapy], 2020, vol. 8, no. 1, pp. 3-8. <https://doi.org/10.30895/2312-7821-2020-8-1-3-8>
 11. Spravochnik po profilaktike i lecheniyu COVID-19 [Handbook for the prevention and treatment of COVID-19] / Ed. T. Liang. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2020, 68 p. http://education.almazovcentre.ru/wp-content/uploads/2020/03/Spravochnik_po_profilaktike_i_lecheniyu_COVID_19.pdf
 12. Shklyaev A.E., Malakhova I.G., Gorbunov Yu.V., Kovarina Zh.A., Rachikhina A.N. Faktory riska letal'nogo iskhoda pri zabolevaniyah pecheni (retrospektivnyj i prospektivnyj analiz) [Risk factors for lethal outcome in liver diseases (retrospective and prospective analysis)]. *Prakticheskaya medicina* [Practical medicine], 2014, no. 1(77), pp. 74-77.
 13. Shklyaev A.E., Malakhova I.G. Letal'nye iskhody ot patologii organov pishchevareniya v LPU Udmurtskoj Respubliki: analiz za 2005-2010 gody [Lethal outcomes from the pathology of the digestive system in the medical institution of the Udmurt Republic: analysis for 2005-2010]. *Zdorov'e, demografiya, ekologiya finno-ugorskih narodov* [Health, demography, ecology of the Finno-Ugric peoples], 2012, no. 1, pp. 33-36.
 14. Shklyaev A.E., Malakhova I.G. Prognosticheskoe znachenie pokazatelej gemostaza pri zabolevaniyah pecheni [Prognostic value of hemostasis indices in

- liver diseases]. *Tromboz, gemostaz i reologiya* [Thrombosis, hemostasis and rheology], 2016, no. S3(67), pp. 462-464.
15. Pshenichnaya N.Yu., Lizinfeld I.A., Zhuravlev G.Yu., Ploskireva A.A., Akimkin V.G. Epidemicheskij process COVID-19 v Rossijskoj Federacii: promezhutochnye itogi. Soobshchenie 1. [Epidemic process of COVID-19 in the Russian Federation: interim results. Communication 1.]. *Infekcionnye bolezni* [Infectious diseases], 2020., no. 18(3), pp. 7-14. <https://doi.org/10.20953/1729-9225-2020-3-7-14>
 16. Shchelkanov M.Yu., Kolobukhina L.V., Burgasova O.A., Kruzhkova I.S., Maleev V.V. COVID-19: etiologiya, klinika, lechenie [COVID-19: etiology, clinic, treatment]. *Infekciya i immunitet* [Infection and immunity], 2020, vol. 10, no. 3, pp. 421-445. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-CEC-1473>
 17. Chen N., Zhou M., Dong X., Qu J., Gong F., Han Y., Qiu Y., Wang J., Liu Y., Wei Y., Xia J., Yu T., Zhang X., Zhang L. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet*, 2020, vol. 395, pp. 507-513. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30211-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30211-7)
 18. Chen T., Wu D., Chen H., Yan W., Yang D., Chen G. et al. Clinical characteristics of 113 deceased patients with coronavirus disease 2019: retrospective study. *Br. Med. J.*, 2020, №1091 (March): m1091. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1091>
 19. Henderson L.A., Canna S.W., Schulert G.S., Volpi S., Lee P.Y., Kernan K.F. et al. On the alert for cytokine storm: immunopathology in COVID-19. *Arthritis Rheum.*, 2020. <https://doi.org/10.1002/art.41285>
 20. Porfidia A., Pola R. Venous thromboembolism in COVID-19 patients. *J. Thromb. Haemost.*, 2020, vol. 18(6), pp. 1516-1517. <https://doi.org/10.1111/jth.14842>
 21. Ryu S., Chun B.C. An interim review of the epidemiological characteristics of 2019 novel coronavirus. *Epidemiol. Health.*, 2020, vol. 42: e2020006. <https://doi.org/10.4178/epih.e2020006>
 22. The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19). China: China CDC Weekly, 2020, vol. 2(8), pp. 113-22.
 23. Wang L., He W., Yu X., Hu D., Bao M., Liu H. et al. Coronavirus Disease 2019 in elderly patients: characteristics and prognostic factors based on 4-week follow-up. *J. Infection*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.019>

ВКЛАД АВТОРОВ

Шкляев А.Е.: концепция исследования, проверка критически важно-го интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Лялина А.С.: сбор и обработка клинического материала, обоснование и написание рукописи.

Хамадуллин А.А.: сбор и обработка клинического материала, ответственность автора за все аспекты работы.

Шабельник А.В.: концепция исследования, сбор и обработка клинического материала.

Ильин С.В.: сбор и обработка клинического материала, интерпретация инструментальных данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aleksey E. Shklyayev: research concept, review of critical intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Anastasia S. Lyalina: collection and processing of clinical material, substantiation and writing of the manuscript.

Ayrat A. Khamadullin: collection and processing of clinical material, responsibility of the author for all aspects of the work.

Andrey V. Shabelnik: research concept, collection and processing of clinical material.

Stanislav V. Pyin: collection and processing of clinical material, interpretation of instrumental data.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шкляев Алексей Евгеньевич, ректор, профессор кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии, доктор медицинских наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
shklyaevaleksey@gmail.com*

Лялина Анастасия Сергеевна, клинический ординатор кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
terapevt-lyalina@yandex.ru*

Хамадуллин Айрат Айдарович, студент 6 курса лечебного факультета
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Ижевская государственная медицинская
академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Коммунаров, д. 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
airat1997.ru@yandex.ru*

Шабельник Андрей Владимирович, врач-стоматолог
*Государственное автономное учреждение здравоохранения «Сто-
матологическая поликлиника №3»
б-р Цветочный, 7/37 Б, г. Набережные Челны, 423821, Российская
Федерация
dr.shabelnik@mail.ru*

Ильин Станислав Владимирович, стоматолог-хирург
*Общество с ограниченной ответственностью «GoodDental»
пр. Набережночелнинский, 54, г. Набережные Челны, 423822, Рос-
сийская Федерация
Stanislav_Ilin_84@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksey E. Shklyayev, Rector, Professor of the Department of Faculty Thera-
py with Courses in Endocrinology and Hematology, Doctor of Medical
Sciences, Professor
*Izhevsk State Medical Academy
281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation
shklyayevaleksey@gmail.com
SPIN-code: 3537-8929
ORCID: 0000-0003-4479-508X
ResearcherID: T-6517-2017
Scopus Author ID: 57220992865*

Anastasia S. Lyalina, Clinical Resident of the Department of Faculty Therapy
with Courses in Endocrinology and Hematology
Izhevsk State Medical Academy

*281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation
terapevt-lyalina@yandex.ru*

Ayrat A. Khamadullin, 6th year Student of the Medical Faculty
*Izhevsk State Medical Academy
281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation
airat1997.ru@yandex.ru*

Andrey V. Shabelnik, Dentist
*Dental Clinic no. 3
7/37 B, Tsvetochny blvd., Naberezhnye Chelny, 423821, Russian Federation
dr.shabelnik@mail.ru*

Stanislav V. Ilyin, Dentist-Surgeon
*GoodDental
54, Naberezhnochelnski Ave., Naberezhnye Chelny, 423822, Russian
Federation
Stanislav_Ilin_84@mail.ru*

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-46-62

УДК 616.33-008.1:613.21:796.012.6

ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИРА И ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СИМПТОМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГАСТРОИНТЕСТИНАЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ

*А.Е. Шкляев, О.А. Григорьева, Ю.С. Мерзлякова,
К.В. Максимов, Д.Д. Казарин*

Обоснование. Функциональные заболевания желудочно-кишечного тракта являются актуальной проблемой современной гастроэнтерологии в связи с ростом их частоты и значительным влиянием на качество жизни пациентов. В числе факторов, способствующих их манифестации, рассматриваются особенности образа жизни и питания. Однако, влияние нарушений пищевого поведения и распределения жировой ткани на выраженность гастроэнтерологической симптоматики у лиц с разным уровнем физической активности требует уточнения.

Цель: уточнить влияние пищевого поведения, распределения жира и физической активности на симптомы функциональных гастроинтестинальных расстройств.

Материалы и методы. Обследовано 60 человек без органических заболеваний желудочно-кишечного тракта в возрасте $22,7 \pm 0,19$ года. Сформированы 2 группы по 30 человек: регулярно занимающиеся физическими упражнениями и не занимающиеся физическими упражнениями. Проведено анкетирование по опросникам GSRs, DEBQ, определены антропометрические данные. Статистическая обработка включала вычисление средних величин, их ошибок, *t*-критерий Стьюдента, критерий корреляции Пирсона, факторный анализ.

Результаты. Регулярно занимающиеся физическими упражнениями имеют более низкие показатели количества подкожной и висцеральной жировой ткани, чем не занимающиеся. В группе физически активных выявлено наличие обратной зависимости между синдромом запоров и количеством висцерального жира. У не занимающихся физическими упражнениями обнаружена прямая зависимость между количеством висцерального жира и рефлюкс-синдромом, экстернальным типом пищевого поведения. В фактор «риск

гастроэнтерологической патологии» вошли: общий балл по опроснику GSRS, эмоциогенный и экстернальный типы пищевого поведения, окружность бедер и соотношение объем талии/объем бедер.

Заключение. Для минимизации симптомов функциональных гастроинтестинальных расстройств необходимо оптимальное количество висцерального жира, его уменьшение усугубляет синдром запоров, а увеличение – рефлюкс-синдром. Регулярные физические упражнения позволяют сбалансировать особенности пищевого поведения и оптимизировать количество жировой ткани в организме.

Ключевые слова: пищевое поведение; жировая ткань; физическая активность; функциональные гастроинтестинальные расстройства; GSRS; DEBQ

Для цитирования. Шкляев А.Е., Григорьева О.А., Мерзлякова Ю.С., Максимов К.В., Казарин Д.Д. Влияние пищевого поведения, распределения жира и физической активности на симптомы функциональных гастроинтестинальных расстройств // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 46-62. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-46-62

INFLUENCE OF EATING BEHAVIOR, FAT DISTRIBUTION AND PHYSICAL ACTIVITY ON SYMPTOMS OF FUNCTIONAL GASTROINTESTINAL DISORDERS

*A.E. Shklyayev, O.A. Grigorieva, Yu.S. Merzlyakova,
K.V. Maximov, D.D. Kazarin*

Background. Functional diseases of the gastrointestinal tract are an urgent problem of modern gastroenterology due to the increase in their frequency and significant impact on the quality of life of patients. Among the factors contributing to their manifestation, the features of the lifestyle and nutrition are considered. However, the effect of eating disorders and the distribution of adipose tissue on the severity of gastroenterological symptoms in individuals with different levels of physical activity requires clarification.

Purpose: To clarify the effect of eating behavior, fat distribution and physical activity on the symptoms of functional gastrointestinal disorders.

Materials and methods. The study involved 60 people without organic diseases of the gastrointestinal tract at the age of 22,7±0,19 years. Formed 2 groups of 30 people: regularly exercising and not exercising. A questionnaire survey was carried

out using GSRS, DEBQ questionnaires, anthropometric data were determined. Statistical processing included calculation of mean values, their errors, Mann-Whitney U-test, Spearman rank correlation test, factor analysis.

Results. Those who exercise regularly have lower levels of subcutaneous and visceral adipose tissue than those who do not. In the group of physically active patients, an inverse relationship was found between constipation syndrome and the amount of visceral fat. In those who do not exercise, a direct relationship was found between the amount of visceral fat and reflux syndrome, an external type of eating behavior. The factor "risk of gastroenterological pathology" included: total score on the GSRS questionnaire, emotoigenic and external types of eating behavior; hip circumference and waist / hip ratio.

Conclusion. To minimize the symptoms of functional gastrointestinal disorders, an optimal amount of visceral fat is required; a decrease in it aggravates constipation syndrome, and an increase in reflux syndrome. Regular exercise can help you balance your eating habits and optimize the amount of adipose tissue in your body.

Keywords: eating behavior; adipose tissue; physical activity; functional gastrointestinal disorders; GSRS; DEBQ

For citation. Shklyayev A.E., Grigorieva O.A., Merzlyakova Yu.S., Maksimov K.V., Kazarin D.D. Influence of eating behavior, fat distribution and physical activity on symptoms of functional gastrointestinal disorders. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 46-62. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-46-62

Введение

На сегодняшний день функциональные заболевания желудочно-кишечного тракта являются актуальной проблемой современной гастроэнтерологии [13]. Факторы, способствующие развитию функциональной патологии органов пищеварения остаются не до конца изученными [10]. Имеются сведения о наличии взаимосвязи функциональной диспепсии с антропометрическими данными, распределением жировой ткани в организме и определенными соматотипами [1]. Количество больных с избыточной массой тела и ожирением неуклонно растет во всем мире [17]. С развитием новых высокоразрешающих визуализирующих технологий появилась возможность оценки как общего количества жировой ткани в теле, так и исследования топографических особенностей ее распределения [9]. Однако, самыми простыми и доступными для оценки количества жировой массы в организме являются антропометрические методы [6]. Особый интерес представляет изучение висцерального отложения жировой массы, так как показана его взаимосвязь с высоким риском развития многих заболеваний. В многочис-

ленных отечественных и зарубежных исследованиях установлено липотоксическое действие висцерального жира [2, 19]. При морбидном ожирении частота неалкогольной жировой болезни печени достигает 95-100% [7, 18]. Достоверно чаще страдают ей пациенты с метаболически нездоровым фенотипом [12]. Разработана прогностическая модель развития стеатоза печени при висцеральном ожирении [8]. Интраабдоминальная аккумуляция жира предрасполагает к развитию не только патологии печени, но и желчного пузыря, грыж брюшной стенки [14]. Среди причин развития первичного ожирения важными являются изменение образа жизни, гиподинамия, нарушения питания [16]. Показано, что развитие ожирения и ассоциированных с ним нарушений здоровья прямо связано с изменениями пищевого поведения (ПП) [4]. В предыдущих исследованиях показана взаимосвязь типов нарушений ПП с определенной гастроэнтерологической симптоматикой [5], в количественной характеристике которой важное значение имеет определение качества жизни с использованием специфического опросника [15].

Цель исследования: уточнить влияние пищевого поведения, распределения жира и физической активности на симптомы функциональных гастроинтестинальных расстройств.

Материалы и методы

Проведено обследование 60 студентов ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России, не имеющих органических заболеваний желудочно-кишечного тракта. Средний возраст составил $22,7 \pm 0,19$ лет. Были сформированы 2 группы по 30 человек: I группа – регулярно занимающиеся физическими упражнениями (спортивные танцы), II группа - не занимающиеся физическими упражнениями. Для более детального и структурированного исследования была разработана анкета из 80 вопросов, состоящая из 4 разделов. Первый раздел посвящен общим вопросам (возраст, работа, негигиенические привычки). Второй – специальный гастроэнтерологический опросник GSRS (Gastrointestinal Symptom Rating Scale), включающий 17 пунктов, разделённый на 5 шкал: абдоминальная боль, рефлюкс-синдром, диарейный синдром, диспепсический синдром, синдром запоров. Показатели шкал колеблются от 1 до 7, более высокие значения соответствуют более выраженным симптомам и более низкому качеству жизни (КЖ). Третий – опросник пищевого поведения DEBQ (The Dutch Eating Behaviour Questionnaire), состоящий из 33 вопросов, касающихся поведения, связанного с приемом пищи. В настоящее время выделяют три типа нарушений ПП: экстернальное, ограни-

чительное и эмоциогенное. Экстернальное ПП проявляется повышенной реакцией больного не на внутренние гомеостатические стимулы к приему пищи (уровень глюкозы, свободных жирных кислот в крови и т. д.), а на внешние стимулы (красиво накрытый стол, принимающий пищу человек, привлекательная реклама пищевых продуктов). При эмоциогенном ПП (гиперфагическая реакция на стресс или эмоциональное напряжение) стимулом к приему пищи становится не физический голод, а психологический дискомфорт. Прием пищи успокаивает, отвлекает, повышает настроение, служит «терапией» эмоционального дискомфорта. Ограничительный тип ПП характеризуется избыточным пищевым самоограничением [Вознесенская]. Четвертый раздел анкеты включал антропометрические данные. Оценивались объём талии (ОТ), объём бёдер (ОБ), индекс массы тела (ИМТ), сагиттальный диаметр, отношение ОТ/ОБ, объём общей жировой ткани (ООЖТ), объём висцеральной жировой ткани (ОВЖТ), объём подкожной жировой ткани (ОПЖТ), масса ООЖТ, масса безжировой ткани.

Статистический анализ осуществлялся с помощью пакета Statistika 6.0. В исследовании были использованы параметрические методы статистической обработки, поскольку распределение данных являлось нормальным (проверка нормальности проведена при помощи коэффициентов асимметрии и вариации). Достоверность отличий количественных признаков определялась по t-критерию Стьюдента, для номинальных шкал был использован критерий χ -квадрат. Оценку взаимосвязи признаков проводили с применением методов корреляционного (по критерию корреляции рангов Пирсона) и факторного анализа (метод главных компонент с вращением «варимакс»). Результаты считались достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты анкетирования в отношении негигиенических привычек (употребление спиртных напитков, табакокурение) показали относительную сопоставимость сравниваемых групп по данным показателям согласно критерию χ -квадрат Пирсона. Так, в группе регулярно занимавшихся физическими упражнениями не курили – 27 человек (90,0%, $p=0,24$), не употребляли спиртные напитки – 5 человек (16,7%, $p=0,087$), в группе не занимавшихся физическими упражнениями – 24 (80,0%) и 6 (20,0%), соответственно ($p=0,061$). Анализ диетических предпочтений показал наличие более существенной разницы между сравниваемыми группами. Выявлено, что жареную пищу регулярно употребляли 11 обследованных (36,7%) в первой группе и 18 (60,0%) – во второй ($p=0,014$), газированные напитки – 10,0% и 17,0% ($p=0,027$), менее 3 раз в сутки питались – 4 (13,3%)

и 6 (20,0%), соответственно ($p=0,051$). Для респондентов первой группы более характерно сбалансированное и рациональное питание – частота употребления мяса, овощей и фруктов у них выше, а частота употребления фастфуда значительно ниже, чем у участников второй группы ($p=0,047$). При этом группы были сопоставимы по материальному положению респондентов – большинство охарактеризовало свое финансовое благополучие ответом «Кроме питания и проживания могу позволить некоторые вещи» (70,0% в первой группе и 73,3% – во второй, $p=0,001$).

Влияние негигиенических привычек (курение, употребление пищи перед сном, использование жевательной резинки, употребление пищи совместно с алкоголем) на развитие гастроэнтерологической симптоматики у студентов показано в предыдущих исследованиях [10]. Анализ гастроэнтерологической симптоматики, выявленной у участников настоящего исследования с помощью опросника качества жизни GSRs, позволил детализировать выраженность отдельных синдромов (табл. 1).

Таблица 1.

**Выраженность гастроэнтерологических синдромов
по опроснику GSRs, баллы (M±m)**

Шкалы	Первая группа	Вторая группа	p
Абдоминальная боль	3,93±0,31	3,86±0,38	0,659
Рефлюкс-синдром	4,23±0,33	5,03±0,44	0,188
Диарейный синдром	3,63±0,18	4,00±0,29	0,420
Диспептический синдром	7,90±0,58	9,10±0,93	0,644
Синдром запоров	3,93±0,35	4,50±0,39	0,496
Суммарный балл	23,63±1,19	26,50±1,73	0,450

Наибольшие показатели в структуре гастроэнтерологической симптоматики были достигнуты для диспептического синдрома (урчание в животе, чувство распирания, переполнения, вздутие живота, отрыжка воздухом и отхождение газов через кишечник): в группе регулярно занимавшихся физическими упражнениями – 7,90±0,58 балла (у 22 человек из 30), в группе не занимавшихся физическими упражнениями – 9,10±0,93 балла (у 21 человека из 30). Выявлена тенденция к большей выраженности клинических симптомов во второй группе (выше суммарный балл) за счет проявлений большинства синдромов (рефлюкс-синдром, диспептический, диарейный, синдром запоров). Абдоминальный болевой синдром, являющийся ведущим в клинике большинства заболеваний желудочно-кишечного тракта, был одинаково выражен в обеих группах.

Расстройства пищевого поведения усугубляют течение патологии желудочно-кишечного тракта [5]. Анализ результатов выявленных типов ПП у участников исследования не выявил грубых нарушений (табл. 2). Отмечено незначительное превышение среднего значения экстернального ПП над нормативным в той и другой группе. По типам ПП между группами достоверных отличий нет (t-критерий Стьюдента). По данным других исследователей экстернальный тип нарушений ПП характерен для людей с абдоминальным типом распределения жировой ткани, при подкожном типе распределения жировой ткани более характерен эмоциогенный тип нарушений ПП [11].

Таблица 2.

Типы пищевого поведения по опроснику DEBQ, баллы (M±m)

Типы пищевого поведения	Первая группа	Вторая группа	p	Норма
Эмоциогенное	1,9±0,12	2,13±0,19	0,327	1,8
Экстернальное	3,0±0,12	3,05±0,17	0,801	2,7
Ограничительное	2,09±0,15	2,06±0,202	0,107	2,4

Для оценки характера распределения жировой ткани в организме обследованных использовались антропометрические показатели (табл. 3). Средние значения индекса массы тела в обеих группах находились в пределах нормальных величин. При этом у 2 человек в первой группе и у 6 во второй ИМТ был выше 25,0 кг/м². что соответствует избыточной массе тела.

Таблица 3.

Антропометрические показатели обследованных (M±m)

Показатели	Первая группа	Вторая группа	p
Масса тела, кг	65,82±2,75	68,47±2,26	0,460
Рост, м	1,72±0,23	1,73±0,16	0,775
ОБ, см	93,07±1,51	97,63±1,25	0,024
СД, см	17,03±0,63	19,43±0,83	0,025
ОТ, см	72,23±1,63	76,17±2,26	0,164
ООЖТ, л	9,58±1,57	11,70±1,46	0,329
ИМТ, кг/м ²	21,97±0,47	22,82±0,53	0,235
ОВЖТ, л	0,95±0,46	2,71±0,61	0,025
ОПЖТ, л	8,63±1,24	8,99±1,15	0,833
мООЖТ, кг	8,85±1,45	10,80±1,35	0,329
мБЖТ, кг	56,97±1,36	57,67±1,00	0,680
ОТ/ОБ	0,78±0,019	0,78±0,02	0,971

Достоверные отличия (t-критерий Стьюдента) между группами были получены по таким показателям как объем бедер, сагиттальный диаметр и объем висцеральной жировой ткани, значения которых были выше у не занимавшихся физическими упражнениями (табл. 4). При этом на висцеральную жировую ткань в первой группе пришлось 9,92% от общего объема жировой ткани в организме, во второй – 23,16%.

Таблица 4.

Отличия между группами по антропометрическим показателям

Показатели	Средние значения		t-критерий Стьюдента	p
	Первая группа	Вторая группа		
Окружность бедер	93,07	97,63	-2,327	0,024
Сагиттальный диаметр	17,03	19,43	-2,311	0,025
ОВЖТ	0,95	2,71	-2,312	0,025

Сагиттальный диаметр (высота живота в положении пациента лежа на спине) и коэффициент ОТ/ОБ являются дополнительными для оценки распределения жировой ткани в теле. Показано, что ОТ и сагиттальный диаметр отражают степень висцерального ожирения, в то время как коэффициент ОТ/ОБ (отношение окружности талии и бедер) – степень развития подкожной жировой клетчатки. Значение коэффициента ОТ/ОБ >1,0 у мужчин и >0,85 у женщин указывает на преобладание абдоминального жира в организме [9]. Отношение ОТ/ОБ у 3 человек (10,0%) в группе не занимавшихся физическими упражнениями оказалось выше нормы.

Все полученные количественные результаты (выраженность гастроэнтерологических синдромов, типы нарушений пищевого поведения, антропометрические показатели обследованных) были подвергнуты анализу методом ранговой корреляции Спирмена. В группе регулярно занимающихся физическими упражнениями выявлены следующие взаимосвязи выраженности синдрома запоров: отрицательная корреляция с сагиттальным диаметром ($r=-0,352$, $p=0,05$), отрицательная корреляция с объемом висцеральной жировой ткани ($r=-0,352$, $p=0,05$). Их наличие свидетельствует о нарастании синдрома запоров в первой группе при уменьшении сагиттального диаметра и объема висцеральной жировой ткани. Очевидно, некоторое количество висцерального жира требуется для поддержания нормальных анатомо-топографических соотношений между органами брюшной полости и осуществления физиологической перистальтики кишечника с пассажем кишечного содержимого.

В группе не занимающихся физическими упражнениями также обнаружен ряд взаимосвязей. Так, выявлены прямые корреляции сагиттального диаметра с рефлюкс-синдромом ($r=-0,461$, $p=0,01$) и экстернальным пищевым поведением ($r=-0,307$, $p=0,049$). Аналогичные корреляции выраженности рефлюкс-синдрома и экстернального типа пищевого поведения выявлены с объемом висцеральной жировой ткани, что подтверждает сопряженность данного показателя с сагиттальным диаметром. В отсутствие физических упражнений лица с экстернальным типом пищевого поведения (желание есть стимулируется не голодом, а видом еды, ее запахом, характерна еда «за компанию») склонны к увеличению висцеральных жировых депо. Увеличение объема висцерального жира закономерно повышает внутрибрюшное давление, приводя к рефлюксам в желудочно-кишечном тракте, клинически проявляющимся изжогой, отрыжкой и тошнотой.

С целью интегральной оценки взаимодействующих параметров был проведен факторный анализ, позволяющий при изучении взаимосвязей переменных выявлять «скрытые», но объективно существующие закономерности исследуемого процесса, а также измерять их. Факторный анализ по всей выборке обследованных позволил объединить в один фактор (процент объясненной дисперсии – 17,9) следующие компоненты (с их факторными весами): общий балл по опроснику GSRS (0,642), эмоциогенный тип пищевого поведения (0,475), экстернальный тип пищевого поведения (0,595), окружность бедер (0,542) и соотношение ОТ/ОБ (0,489). Данный фактор, расцениваемый как «риск патологии желудочно-кишечного тракта», показывает связь гастроэнтерологической симптоматики с нарушением пищевого поведения («заедание стресса» и еда вне голода) и ростом количества жировой ткани в организме.

Заключение

Комплексное обследование двух групп студентов, которые были сопоставимы по распространенности негигиенических привычек и особенностям пищевого поведения, но отличались по уровню регулярных физических нагрузок, выявило следующие результаты. По данным антропометрии для регулярно занимающихся физическими упражнениями характерны достоверно более низкие показатели количества как подкожной жировой ткани (объем бедер), так и висцеральной (сагиттальный диаметр, объем висцеральной жировой ткани), чем для не занимающихся. Сопоставление параметров распределения жировой ткани с выраженностью симптомов функциональных нарушений желудочно-кишечного тракта в

группе физически активных студентов выявило наличие обратной зависимости между синдромом запоров и количеством висцерального жира. У не занимающихся физическими упражнениями обнаружена прямая зависимость между количеством висцерального жира и рефлюкс-синдромом, а также экстернальным типом пищевого поведения. Факторный анализ оцениваемых параметров позволил объединить в фактор «риск гастроэнтерологической патологии»: общий балл по опроснику GSRS, эмоциональный и экстернальный типы пищевого поведения, окружность бедер и соотношение объем талии/объем бедер.

С целью минимизации симптомов функциональных нарушений желудочно-кишечного тракта важно поддерживать оптимальное количество висцерального жира, так как его уменьшение грозит усугублением синдрома запоров, а увеличение – нарастанием проявлений рефлюкс-синдрома. Регулярные физические упражнения позволяют сбалансировать особенности пищевого поведения и оптимизировать количество жировой ткани в организме.

Список литературы

1. Аккомодация желудка: влияние антропометрических факторов / Шкляев А.Е., Бендерская Е.Ю., Максимов К.В., Гасанов А.М. // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. С. 47. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26790>
2. Висцеральное ожирение как глобальный фактор сердечно-сосудистого риска / Чумакова Г.А., Кузнецова Т.Ю., Дружиллов М.А., Веселовская Н.Г. // Российский кардиологический журнал. 2018. № 23(5). С. 7-14. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-7-14>
3. Вознесенская Т.Г. Расстройства пищевого поведения при ожирении и их коррекция // Фарматека. 2009. № 12. С. 91-94.
4. Исаченкова О.А. Пищевое поведение как важный фактор развития ожирения и коморбидных с ним заболеваний // Ожирение и метаболизм. 2015. Т. 12, № 4. С. 14-17. <https://doi.org/10.14341/omet2015414-17>
5. Казарин Д.Д., Шкляев А.Е., Горбунов Ю.В. Особенности расстройств пищевого поведения у больных хроническим гастритом на фоне сахарного диабета 2 типа // Архивъ внутренней медицины. 2019. № 9(4). С. 296-300. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2019-9-4-296-300>
6. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технология и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 248 с.
7. Междисциплинарные клинические рекомендации «Лечение ожирения и коморбидных заболеваний» / Дедов И.И., Шестакова М.В., Мельниченко

- Г.А., Мазурина Н.В., Андреева Е.Н., Бондаренко И.З., Гусова З.Р., Дзгоева Ф.Х. и др. // Ожирение и метаболизм. 2021. Т. 18, № 1. С. 5-99. <https://doi.org/10.14341/omet12714>
8. Многофакторный прогноз развития неалкогольной жировой болезни печени при висцеральном ожирении у больных ишемической болезнью сердца и артериальной гипертензией / Логачева И.В., Рязанова Т.А., Пономарев С.Б., Макарова В.Р. // *Российский кардиологический журнал*. 2021. № 26(1). С. 87-92. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4015>
 9. Огороков П.Л., Васюкова О.В., Воронцов А.В. Методы оценки количества и распределения жировой ткани в организме и их клиническое значение // *Проблемы эндокринологии*. 2014. №3. С. 53-58. <https://doi.org/10.14341/probl201460353-58>
 10. Особенности проявлений функциональной диспепсии у студентов медицинского вуза различных лет обучения / Шкляев А.Е., Шутова А.А., Бессонов А.Г., Максимов К.В. // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2020. № 181(9). С. 24–28. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-181-9-24-28>
 11. Особенности психоэмоционального состояния, пищевого поведения и показателей гормонально-адипокиновой регуляции метаболизма у мужчин с подкожным и абдоминальным типами распределения жира / Мохова И.Г., Пинхасов Б.Б., Шилина Н.И., Янковская С.В., Селятицкая В.Г. // *Ожирение и метаболизм*. 2020. Т. 17, № 2. С. 156-163. <https://doi.org/10.14341/omet12100>
 12. Панова Е.И., Пиманкина М.С., Каратаева О.В. Клинические особенности и инсулинорезистентность у мужчин с метаболически нездоровым фенотипом ожирения // *Архивъ внутренней медицины*. 2020. № 10(4). С. 288-295. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2020-10-4-288-295>
 13. Рекомендации по ведению первичных пациентов с симптомами диспепсии / Лазебник Л.Б., Алексеев С.А., Лялюкова Е.А. и др. // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2018. № 5(153). С. 4-18. <https://www.rnmot.ru/public/uploads/RNMOT/clinical/2018/%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>
 14. Соловьева А.В., Ракита Д.Р. Клиническое значение висцеральных депо жировой ткани // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2017. Т. 12, № 4. С. 358-361. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2017.12100>
 15. Шкляев А.Е., Горбунов Ю.В. Применение специфического и неспецифического опросников для оценки качества жизни пациентов с функциональной патологией кишечника // *Архивъ внутренней медицины*. 2016. № 4(30). С. 53-57. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2016-6-4-53-57>

16. Garvey W.T. Clinical Definition of Overweight and Obesity / *Bariatric Endocrinology*. Springer: Cham, 2019. pp. 121-143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95655-8_7
17. Kushner R.F., Kahan S. Introduction: The State of Obesity in 2017 // *Med. Clin. North Am.*, 2018, no. 102(1), pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2017.08.003>.
18. Musso G., Gambino R., Cassader M. Non-alcoholic fatty liver disease from pathogenesis to management: an update // *Obes. Rev.*, 2009, no. 11(6), pp. 430-445. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2009.00657.x>
19. Sletten A.C., Peterson L.R., Schaffer J.E. Manifestations and mechanisms of myocardial lipotoxicity in obesity // *J. Intern. Med.*, 2018, no. 284(5), pp. 478-491. <https://doi.org/10.1111/joim.12728>

References

1. Shklyayev A.E., Benderskaya E.Yu., Maksimov K.V., Hasanov A.M. Akkomodatsiya zheludka: vliyaniye antropometricheskikh faktorov [Accommodation of the stomach: the influence of anthropometric factors]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2017, no. 5, p. 47. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26790>
2. Chumakova GA, Kuznetsova T.Yu., Druzhilov M.A., Veselovskaya N.G. Vistseral'noye ozhireniye kak global'nyy faktor serdechno-sosudistogo riska [Visceral obesity as a global factor of cardiovascular risk]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* [Russian journal of cardiology], 2018, no. 23 (5), pp. 7-14. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-7-14>
3. Voznesenskaya T.G. Rasstroystva pishchevogo povedeniya pri ozhireнии i ikh korrektsiya [Eating disorders in obesity and their correction]. *Farmateka* [Farmateka], 2009, no. 12, pp. 91-94.
4. Isachenkova O.A. Pishchevoye povedeniye kak vazhnyy faktor razvitiya ozhireniya i komorbidnykh s nim zabolevaniy [Eating behavior as an important factor in the development of obesity and comorbid diseases]. *Ozhireniye i metabolism* [Obesity and metabolism], 2015, Vol. 12, no. 4, pp. 14-17. <https://doi.org/10.14341/omet2015414-17>
5. Kazarin D.D., Shklyayev A.E., Gorbunov Yu.V. Osobennosti rasstroystv pishchevogo povedeniya u bol'nykh khronicheskim gastritom na fone sakharnogo diabeta 2 tipa [Features of eating disorders in patients with chronic gastritis on the background of type 2 diabetes mellitus]. *Arkhiv vnutrenney meditsiny* [Archives of Internal Medicine], 2019, no. 9 (4), pp. 296-300. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2019-9-4-296-300>

6. Martirosov E.G., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. *Tekhnologiya i metody opredeleniya sostava tela cheloveka* [Technology and methods for determining the composition of the human body]. Moscow: Nauka, 2006, 248 p.
7. Dedov I.I., Shestakova M.V., Melnichenko G.A., Mazurina N.V., Andreeva E.N., Bondarenko I.Z., Gusova Z.R., Dzgoeva F.K. et al. *Mezhdistsiplinarnyye klinicheskiye rekomendatsii «Lecheniye ozhireniya i komorbidnykh zabolevaniy»* [Interdisciplinary Clinical Practice Guidelines «Management of obesity and its comorbidities»]. *Ozhireniye i metabolizm* [Obesity and metabolism], 2021, no. 18(1), pp.5-99. <https://doi.org/10.14341/omet12714>
8. Logacheva I.V., Ryazanova T.A., Ponomarev S.B., Makarova V.R. *Mnogofaktornyj prognoz razvitiya nealkogol'noj zhirovoj bolezni pecheni pri visceral'nom ozhireнии u bol'nyh ishemičeskoj bolezni serdca i arterial'noj gipertenziej* [Multifactorial prognosis of the development of non-alcoholic fatty liver disease in visceral obesity in patients with coronary heart disease and arterial hypertension]. *Rossijskij kardiologičeskij žurnal* [Russian journal of cardiology], 2021, no. 26 (1), pp. 87-92. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4015>
9. Okorokov P.L., Vasyukova O.V., Vorontsov A.V. *Metody ocenki kolichestva i raspredeleniya zhirovoj tkani v organizme i ih kliničeskoe znachenie* [Methods for assessing the amount and distribution of adipose tissue in the body and their clinical significance]. *Problemy endokrinologii* [Problems of endocrinology], 2014, no. 3, pp. 53-58. <https://doi.org/10.14341/probl201460353-58>
10. Shklyayev A.E., Shutova A.A., Bessonov A.G., Maksimov K.V. *Osobennosti proyavlenij funkcional'noj dispepsii u studentov medicinskogo vuza razlichnyh let obucheniya* [Features of manifestations of functional dyspepsia in medical students of various years of study]. *Ekspierimental'naya i kliničeskaya gastroenterologiya* [Experimental and clinical gastroenterology], 2020, no. 181 (9), pp. 24-28. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-181-9-24-28>
11. Mokhova I.G., Pinkhasov BB, Shilina N.I., Yankovskaya S.V., Selyatitskaya V.G. *Osobennosti psihoemotional'nogo sostoyaniya, pishchevogo povedeniya i pokazatelej gormonal'no-adipokinovoj regulyacii metabolizma u muzhchin s podkozhnym i abdominal'nym tipami raspredeleniya zhira* [Peculiarities of psychoemotional state, eating behavior and indicators of hormonal-adipokine regulation of metabolism in men with subcutaneous and abdominal types of fat distribution]. *Ozhirenie i metabolizm* [Obesity and Metabolism], 2020, Vol. 17, no. 2, pp. 156-163. <https://doi.org/10.14341/omet12100>
12. Panova E.I., Pimankina M.S., Karataeva O.V. *Kliničeskie osobennosti i insulino-rezistentnost' u muzhchin s metabolicheski nezdorovym fenotipom ozhireniya*

- ya [Clinical features and insulin resistance in men with metabolically unhealthy obesity phenotype]. *Arhivvnutrennej mediciny* [Archives of Internal Medicine], 2020, no. 10 (4), pp. 288-295. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2020-10-4-288-295>
13. Lazebnik L.B., Alekseenko S.A., Lyalukova E.A. et al. Rekomendacii po vedeniyu pervichnyh pacientov s simptomami dispepsii [Recommendations for the management of primary patients with symptoms of dyspepsia]. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and clinical gastroenterology], 2018, no. 5 (153), pp. 4-18. <https://www.rnmot.ru/public/uploads/RNMOT/clinical/2018/%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>
 14. Solovieva A.V., Rakita D.R. Klinicheskoe znachenie visceral'nyh depozitov zhirovoj tkani [Clinical significance of visceral depots of adipose tissue]. *Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza* [Medical Bulletin of the North Caucasus], 2017, vol. 12, no. 4, pp. 358-361. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2017.12100>
 15. Shklyaev A.E., Gorbunov Yu.V. Primenenie specificheskogo i nespezificheskogo oprosnikov dlya ocenki kachestva zhizni pacientov s funkcional'noj patologiej kishechnika [Application of specific and non-specific questionnaires to assess the quality of life of patients with functional bowel pathology]. *Arhiv" vnutrennej mediciny* [Archives of Internal Medicine], 2016, no. 4 (30), pp. 53-57. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2016-6-4-53-57>
 16. Garvey W.T. Clinical Definition of Overweight and Obesity. *Bariatric Endocrinology*. Springer: Cham, 2019, pp. 121-143. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95655-8_7
 17. Kushner R.F., Kahan S. Introduction: The State of Obesity in 2017. *Med. Clin. North Am.*, 2018, vol. 102, no. 1, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2017.08.003>
 18. Musso G., Gambino R., Cassader M. Non-alcoholic fatty liver disease from pathogenesis to management: an update. *Obes. Rev.*, 2009, vol. 11, no. 6, pp. 430-445. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2009.00657.x>
 19. Sletten A.C., Peterson L.R., Schaffer J.E. Manifestations and mechanisms of myocardial lipotoxicity in obesity. *J. Intern. Med.*, 2018, vol. 284, no. 5, pp. 478-491. <https://doi.org/10.1111/joim.12728>

ВКЛАД АВТОРОВ

Шкляев А.Е.: концепция исследования, проверка критически важно-го интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Григорьева О.А.: сбор и обработка клинического материала, обоснование и написание рукописи.

Мерзлякова Ю.С.: сбор и обработка клинического материала, ответственность автора за все аспекты работы.

Максимов К.В.: концепция исследования, сбор и обработка клинического материала.

Казарин Д.Д.: сбор и обработка клинического материала, интерпретация инструментальных данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aleksey E. Shklyayev: research concept, review of critical intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Olga A. Grigorieva: collection and processing of clinical material, substantiation and writing of the manuscript.

Yulia S. Merzlyakova: collection and processing of clinical material, responsibility of the author for all aspects of the work.

Kirill V. Maksimov: research concept, collection and processing of clinical material.

Daniil D. Kazarin: collection and processing of clinical material, interpretation of instrumental data.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шкляев Алексей Евгеньевич, ректор, профессор кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии, доктор медицинских наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
shklyaevalaksey@gmail.com*

Григорьева Ольга Андреевна, аспирант кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
grigoreva_oa@sanmet.ru*

Мерзлякова Юлия Сергеевна, студентка 6 курса лечебного факультета
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации
*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
Merzlyakova.Julya@mail.ru*

Максимов Кирилл Вячеславович, аспирант кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации
*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
maksimovK@mail.ru*

Казарин Даниил Дмитриевич, ассистент кафедры факультетской терапии с курсами эндокринологии и гематологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации
*ул. Коммунаров, 281, г. Ижевск, 426034, Российская Федерация
ddkazarin@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksey E. Shklyayev, Rector, Professor of the Department of Faculty Therapy with Courses in Endocrinology and Hematology, Doctor of Medical Sciences, Professor
*Izhevsk State Medical Academy
281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation
shklyayevaleksey@gmail.com
SPIN-code: 3537-8929
ORCID: 0000-0003-4479-508X*

ResearcherID: T-6517-2017

Scopus Author ID: 57220992865

airat1997.ru@yandex.ru

Olga A. Grigorieva, Postgraduate Student of the Department of Faculty Therapy with Courses in Endocrinology and Hematology

Izhevsk State Medical Academy

281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation

grigoreva_oa@sanmet.ru

Yulia S. Merzlyakova, 6th Year Student of the Medical Faculty

Izhevsk State Medical Academy

281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation

Merzlyakova.Julya@mail.ru

Kirill V. Maksimov, Postgraduate Student of the Department of Faculty Therapy with Courses in Endocrinology and Hematology

Izhevsk State Medical Academy

281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation

maksimovK@mail.ru

Daniil D. Kazarin, Assistant at the Department of Faculty Therapy with Courses in Endocrinology and Hematology

Izhevsk State Medical Academy

281, Kommunarov Str., 281, Izhevsk, 426034, Russian Federation

ddkazarin@mail.ru

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-63-73

УДК 61.614.614.2

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ДЕТЕЙ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ ЗА 2014–2019 ГОДЫ

З.М. Мустафаева

Цель. Изучение качества и эффективности организации обязательной диспансеризации в детских амбулаторно-поликлинических учреждениях страны за 2014-2019 гг. на основании утвержденных показателей стандартов качества.

Материалы и методы. Ретроспективный анализ динамики показателей диспансеризации (охват профилактическими медицинскими осмотрами; структура больных, состоящих под диспансерным наблюдением, по нозологическим формам; своевременность взятия больных на диспансерный учет; полнота проведения лечебно-оздоровительных мероприятий; удельный вес больных, снятых с диспансерного учета в связи с выздоровлением и т.д.). Используются данные о деятельности детских амбулаторно-поликлинических учреждений (по стране за период 2014-2019 гг. по формам статистической отчетности №12, 30).

Результаты. Тенденции уменьшения охвата профилактическими прививками и снижения показателей выявляемости заболеваний, неравномерное распределение детей по группам здоровья и показателей первичной инвалидности детей могут быть скрытым результатом ослабления внимания службы здравоохранения на вопросы обязательной диспансеризации детей, которые влияют в свою очередь на показатели состояния здоровья детей в будущем.

Заключение. Изучение динамики показателей качества обязательной диспансеризации позволяет сделать вывод о том, что несмотря на улучшенные работы по организации профилактических и лечебно-оздоровительных мероприятий в детских амбулаторно-поликлинических учреждениях в связи с принятием в 2014 г. “Закона об обязательной диспансеризации детей” в стране, качество и эффективность проведения диспансеризации требует дальнейшего усовершенствования.

Ключевые слова: обязательная диспансеризация детей; профилактические медицинские осмотры; диспансерное наблюдение; группы здоровья

Для цитирования. Мустафаева З.М. Изучение показателей качества обязательной диспансеризации детей в Азербайджане за 2014-2019 годы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 63-73. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-63-73

STUDY OF QUALITY INDICATORS OF OBLIGATORY MEDICAL EXAMINATION OF CHILDREN IN AZERBAIJAN FOR 2014–2019

Z.M. Mustafayeva

The aim. Based on indicators of quality standards the study of the quality and effectiveness of the organization of obligatory clinical examination in children's outpatient clinics of the country for 2014-2019.

Materials and methods. Retrospective analysis of the dynamics of indicators of clinical examination (coverage of preventive medical examinations; structure of patients under doctor's supervision; timeliness of taking patients into registration; completeness of medical and health-improving measures; proportion of recovered patients removed from registration etc.). We used data on the activities of children's outpatient clinics for the country for the period 2014-2019 according to statistical reporting forms No. 12, 30).

Results. The tendencies of a decrease in the coverage of preventive vaccinations and a decrease in the detection rates of diseases, the uneven distribution of children by health groups and indicators of primary disability of children may be a hidden result of the weakening of the attention of the health service to the issues of compulsory clinical examination of children, which, in turn, affect the indicators of the health status of children in the future.

Conclusion. The study of the dynamics of indicators of the quality of mandatory clinical examination allows us to conclude that despite the improvement in the

organization of preventive and therapeutic and recreational activities in children's outpatient clinics in connection with the adoption in 2014 of the "Law on mandatory medical examination of children" in the country, the quality and the effectiveness of the clinical examination requires further improvement.

Keywords: *obligatory medical examination; preventive medical checkups; clinical observation; groups' of health*

For citation. *Mustafayeva Z.M. Study of quality indicators of obligatory medical examination of children in Azerbaijan for 2014-2019. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 63-73. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-63-73*

Введение

Сохранение и укрепление здоровья детей лежит в основе социальной государственной политики в Азербайджане. С принятием в 2014 году Закона «Об обязательной диспансеризации детей» в стране особое внимание уделяется вопросу усовершенствования профилактических организационных форм, а именно, диспансеризации, которая представляет динамический контроль за уровнем развития и состоянием здоровья здоровых и больных детей [3].

В связи с этим, усилилась работа по систематическому наблюдению за здоровьем различных групп детей, по составлению новой учетно-отчетной документации и оснащению детских амбулаторно-поликлинических учреждений необходимым оборудованием для проведения профилактических медицинских осмотров [5].

За последние годы в стране были утверждены две государственные целевые программы, которые регламентируют комплексный подход к организации и проведению обязательной диспансеризации, включающей активное выявление патологических состояний и заболеваний на основе постоянного динамического наблюдения и проведения лечебно-оздоровительных и восстановительных мероприятий [7, 8].

Особое внимание при исполнении государственных программ было уделено вопросам изучения качества и эффективности обязательной диспансеризации детей [1, 2, 9]. Постановлением правительства в 2014 году были утверждены стандарты качества обязательной диспансеризации детского населения, а именно, охват детского населения профилактическим медицинскими осмотрами; структура больных, состоящих под диспансерным наблюдением, по нозологическим формам; распределение детей по группам здоровья; своевременность взятия больных на диспансерный

учет; полнота проведения лечебно-оздоровительных мероприятий; удельный вес больных, снятых с диспансерного учета в связи с выздоровлением; охват профилактическими прививками; показатель первичной инвалидности состоящих на диспансерном учете за год [7].

Целью исследования стало изучение качества и эффективности организации обязательной диспансеризации в детских амбулаторно-поликлинических учреждениях страны за 2014-2019 гг. на основании утвержденных стандартов качества.

Материалы и методы

Источником исследования стали годовые статистические отчеты о деятельности детских амбулаторно-поликлинических учреждений (формы №12, 30) по стране за период 2014-2019 гг., а также отчеты об исполнении государственных целевых программ об обязательной диспансеризации детей.

Результаты и их обсуждение

За исследуемый период (2014-2019 гг.) охват детей профилактическими медицинскими осмотрами по всем детским амбулаторным учреждениям страны остается стабильным, колеблясь с 96,8% в 2014 году до 95,1% в 2019 году. При этом доля детей, с впервые выявленными во время проведения профилактических медицинских осмотров заболеваниями, снизилась с 15,5% в 2014 году до 10,7% в 2019 году.

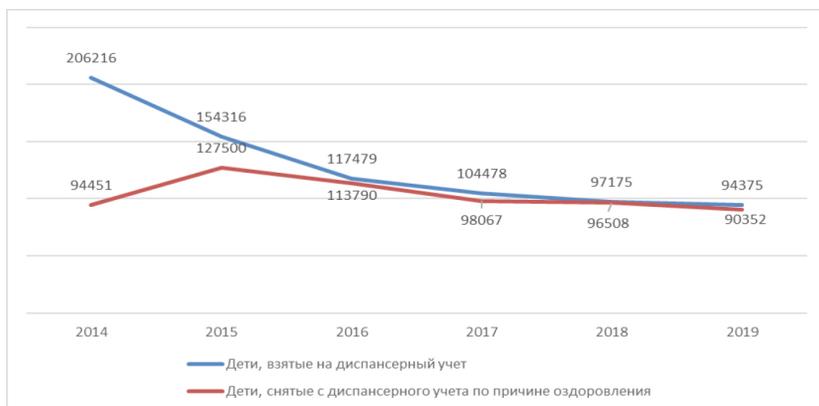


Рис. 1. Распределение детей, находящихся на диспансерном учете и выписанных с диспансерного учета по причине оздоровления (2014-2019 гг.).

Нами было также изучено распределение детей с различной патологией, взятых на диспансерный учет, прошедших индивидуальные программы реабилитации, и снятых с учета по причине оздоровления. По данным за 2014-2019 год доля детей (в %), снятых с диспансерного учета по причине оздоровления, увеличилась с 46% в 2014 году до 96% в 2019 году (рис. 1).

Как видно из рис. 1, за исследуемый период прослеживаются положительные тенденции снижения разрыва между количеством детей, взятых под диспансерное наблюдение и выписанных с диспансерного учета по причине оздоровления, что говорит об совершенствовании и повышении эффективности лечебно-оздоровительных и реабилитационных мероприятий в детских амбулаторно-поликлинических учреждений.

Изучение структуры патологии, выявленной во время обязательной диспансеризации за исследуемые 5 лет, показало, что структура болезней, которые подлежат диспансерному наблюдению, за прошедшие годы существенно не изменилась. Так, структура заболеваний (по классам), впервые выявленных у детей во время обязательной диспансеризации в 2019 году, представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Структура заболеваний, впервые выявленных в 2019 году

Классы заболеваний	Количество детей за 2019 год	Удельный вес в %
Инфекционные и паразитарные болезни	21900	8,3
Новообразования	214	0,1
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	21554	8,2
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	7807	3,0
Психические расстройства и расстройства поведения	4384	1,7
Болезни нервной системы	14373	5,5
Болезни глаза и его придаточного аппарата	29650	11,3
Болезни уха и сосцевидного отростка	10104	3,8
Болезни системы кровообращения	5713	2,2
Болезни органов дыхания	86040	32,7
Болезни органов пищеварения	28924	11,0
Болезни кожи и подкожной клетчатки	4644	1,8

Окончание табл. 1.

Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	8513	3,2
Болезни мочеполовой системы	6262	2,4
Беременность, роды и послеродовой период	6	0,0
Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	1887	0,7
Врождённые аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения	2506	1,0
Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин	8255	3,1
Всего	262736	100

Как представлено в таблице 1, в пятерке «лидирующих» заболеваний на первом месте в структуре патологии находятся болезни органов дыхания (32,7%). На втором месте находятся глазные болезни (11,3%), особенно среди детей младшего школьного возраста (6-13 лет). На третьем месте – болезни органов пищеварения (11%), далее инфекционные и паразитарные заболевания (8,3%). На пятом месте стоят болезни крови и кроветворных органов – 8,2%. При исследовании возрастно-полового состава было выявлено, что наибольшую долю среди диспансерных больных составляют мальчики (56,7±2,1%), а девочки составляют 43,9±1,7%.

При планировании лечебно-оздоровительных и реабилитационных мероприятий в детских амбулаторно-поликлинических учреждениях, важно знать распределение детей, состоящих на диспансерном учете, по возрастам.

Так, структура диспансерных больных по возрастным группам характеризуется относительной стабильностью за весь период исследования и представлена на рис. 2. Основную группу детей, находящихся под диспансерным наблюдением составляют дети младшего школьного возраста (6-13 лет) – 43,1%, на долю детей до 6 лет приходится 34,8%, а на детей старшего школьного возраста (14-17 лет) – 22,1%.

Структуру детей, находящихся на диспансерном учете, по возрастам необходимо принимать во внимание для усиления системы лечебно-оздоровительных мероприятий не только в условиях поликлиники, но и в образовательных учреждениях.

Как известно, распределение детей на однородные группы по уровню здоровья по результатам профилактических медицинских осмотров имеет большое практическое значение для проведения целенаправленных профилактических и лечебно-оздоровительных мероприятий, так как без

этого нельзя добиться существенного снижения детской заболеваемости. Кроме того диспансерное наблюдение и оздоровление таких детей требует периодического клинического и диагностического обследования, проведения лечебно-оздоровительных и реабилитационных мероприятий и снятие с диспансерного учета по результатам оздоровления.

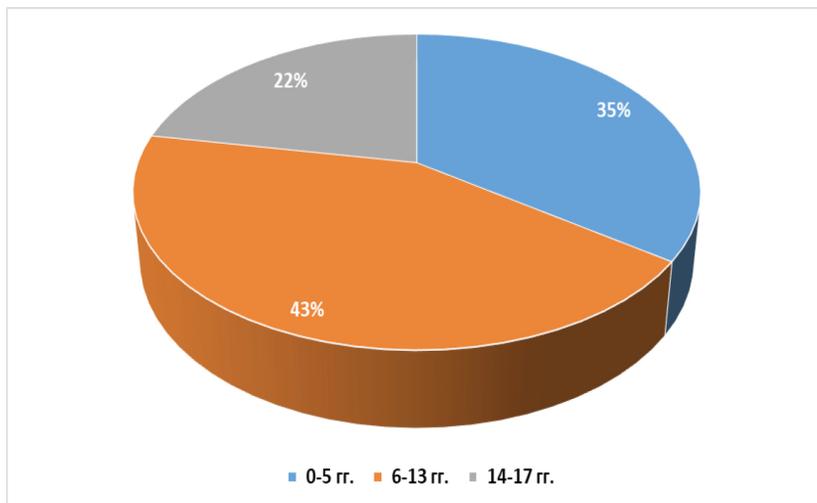


Рис. 2. Структура детей, находящихся под диспансерным наблюдением, по возрастным группам

Распределение детей по группам здоровья за исследуемый период (2014–2019 гг.) существенно не изменилось. Так, наибольший процент составляют дети в I группе (79–81%), далее следуют дети во II группе (14–16%), в III группе – 3–4%, в IV группе – 1–2% и V группе – 0,4% (рис. 3). Исследование распределения детей по группам здоровья с учетом возраста показало, что удельный вес детей 6–13 лет в I группе здоровья является наибольшим (49%), удельный вес детей 14–17 лет наиболее высок в IV группе здоровья – 26%, а возрастная группа 0–5 лет составила 32% в I и III группе здоровья.

Как известно, вакцинация детей является самым эффективным профилактическим мероприятием и одним из наиболее успешных разделов диспансерной работы детских амбулаторно-поликлинических учреждений. Широкий охват детей профилактическими прививками и снижение количества необоснованных отводов от прививок за 2014–2019 гг. (табл. 2), позволяет делать вывод о качественной и эффективной организации диспансеризации детей.

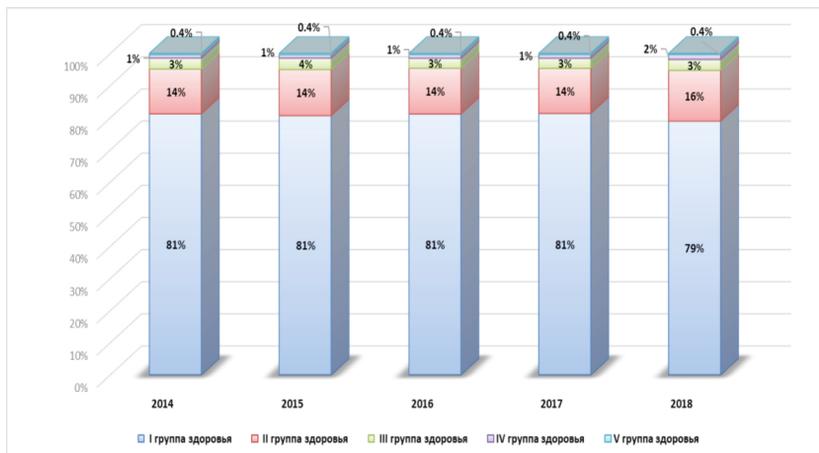


Рис. 3. Распределение детей по группам здоровья (в %)

Таблица 2.

Охват детей профилактическими прививками (%) за 2014-2019 гг.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Вакцинация против гепатита В (НерВ)	99.2	99.3	98.9	99.1	97.8	98.7
Вакцинация против туберкулеза	97.7	97.9	98.3	97.4	97.5	97.5
Противополиомиелитная прививка	97.7	97.9	98.3	97.4	97.5	97.5
Вакцинация против дифтерии, коклюш, столбняка, гепатита В и гемофильной инфекции В типа	96.2	97.2	97.7	96.8	96.5	96.3
Вакцинация против кори, краснухи и паротита	98.2	98.2	97.5	97.4	96.0	97.5

Показатели инвалидности детского населения считаются также одними из важных при изучении организации обязательной детской диспансеризации. В ходе исследования нами была проанализирована детская инвалидность по стране за 2014-2019 гг. Было выявлено, что за последние годы наблюдается тенденция к неравномерному росту и снижению числа детей с ограниченными возможностями здоровья (рис. 4). Первичная инвалидность в стране увеличилась с 2014 года с 19,7 на 10000 детей до 35, 0 на 10000 детей в 2019 году. При этом доля детей 0-13 гг. и 14-17 гг. в 2014 г. и 2019 г. остается неизменно 86% и 14 % соответственно.



Рис. 4. Количество детей с ограниченными возможностями за 2014-2019 гг.

Выводы

Анализ показателей качества диспансеризации за 2014-2019 гг. позволяет в целом положительно оценивать качество и эффективность диспансерной работы с детьми в детских амбулаторно-поликлинических учреждениях Азербайджана. Однако, тенденции уменьшения охвата профилактическими прививками и снижения показателей выявляемости заболеваний, неравномерное распределение детей по группам здоровья и показателей первичной инвалидности детей могут быть скрытым результатом ослабления внимания службы здравоохранения на вопросы обязательной диспансеризации детей, которые влияют в свою очередь на показатели состояния здоровья детей в будущем [4, 10]. Изучение стандартов качества организации обязательной диспансеризации необходимо для планирования лечебно-оздоровительных и санитарно-эпидемиологических мероприятий в детских амбулаторно-поликлинических учреждениях [6].

Информация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Терлецкая Р.Н., Байбарина Е.Н., Чумакова О.В., Устинова Н.В., Антонова Е.В., Вишнева Е.А. Результаты профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних в Российской Федерации // Российский педиатрический журнал. 2016. Т. 19, № 5. С. 287-293. <http://www.medlit.ru/journalsview/pediatrics/view/journal/2016/issue-5/328-results-of-preventive-medical-examinations-of-minors-in-the-russian-federation/>

2. Бородулина Т.В., Санникова Н.Е., Малямова Л.Н., Татарева С.В. Роль диспансеризации в оценке здоровья детей // Уральский мед. ж-л. 2011. № 7. С. 29-38.
3. Закон Азербайджанской Республики «Об обязательной диспансеризации детей» № 591-IVQ, 2013 г. http://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=64453
4. Кича Д.И., Фомина А.В. Диспансеризация населения и содержание профилактической работы врачей первичного звена здравоохранения // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2014. № 3. С. 8–10.
5. Первичная оценка организации обязательной диспансеризации. https://isim.az/upload/file/docs/dispenserizasiya_sorgusu_yekun_hesabat_2015.pdf
6. Ревнова М.О., Волков Д.Я., Сахно Л.В., и др. К вопросу усовершенствования системы массовых медицинских осмотров детского населения // Вопросы современной педиатрии. 2017. Т. 16, № 3. С. 249–253. <https://doi.org/10.15690/vsp.v16i3.1737>
7. Указ Президента АР от 10 апреля 2013 г. № 861 об утверждении Государственной Программы «Об обязательной диспансеризации детей на 2013-2017 гг.».
8. Указ Президента АР от 9 августа 2018 года № 393 об утверждении Государственной Программы «Об обязательной диспансеризации детей на 2018-2022 гг.».
9. Bell N., Grad R., Dickinson J., et al. Better decision making in preventive health screening: Balancing benefits and harms // Can. Fam. Physician. 2017. Vol. 63. No 7. P. 521-524. <https://www.cfp.ca/content/cfp/63/7/521.full.pdf>
10. Weber P, Jenni O. Screening in child health: studies of the efficacy and relevance of preventive care practices // Dtsch. Arztebl. Int. 2012. Vol. 109. No 24. P. 431-435. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0431>

Referenses

1. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Terletskaia R.N., Baybarina E.N., Chumakova O.V., Ustinova N.V., Antonova E.V., Vishneva E.A. Rezul'taty profilakticheskikh meditsinskikh osmotrov nesovershennoletnikh v Rossiyskoy Federatsii [Results of preventive medical examinations of minors in the Russian Federation]. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal* [Russian Pediatric Journal], 2016, vol. 19, no. 5, pp. 287-293. <http://www.medlit.ru/journalsview/pediatrics/view/journal/2016/issue-5/328-results-of-preventive-medical-examinations-of-minors-in-the-russian-federation/>
2. Borodulina T.V., Sannikova N.E., Malyamova L.N., Tatareva S.V. Rol' dispanserizatsii v otsenke zdorov'ya detey [The role of clinical examination in assessing the health of children]. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal* [Ural Medical Journal], 2011, no. 7, pp. 29-38.
3. Law of the Republic of Azerbaijan "On compulsory clinical examination of children", no. 591-IVQ, 2013. http://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=64453
4. Kicha D.I., Fomina A.V. Dispanserizatsiya naseleniya i soderzhanie profilakticheskoy raboty vrachey pervichnogo звена zdravookhraneniya [Clinical examination

- of the population and the content of preventive work of primary care physicians]. *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of social hygiene, health care and history of medicine], 2014, no. 3, pp. 8–10.
5. *Pervichnaya otsenka organizatsii obyazatel'noy dispanserizatsii* [Initial assessment of the organization of compulsory medical examination]. https://isim.az/upload/file/docs/dispenserizasiya_sorgusu_yekun_hesabat_2015.pdf
 6. Revnova M.O., Volkov D.Ya., Sakhno L.V., et al. K voprosu usovershenstvovaniya sistemy massovykh meditsinskikh osmotrov detskogo naseleniya [To the issue of improving the system of mass medical examinations of the child population]. *Voprosy sovremennoy pediatrii* [Questions of modern pediatrics], 2017, vol. 16, no. 3, pp. 249–253. <https://doi.org/10.15690/vsp.v16i3.1737>
 7. Decree of the President of the Republic of Azerbaijan dated April 10, 2013 no. 861 on the approval of the State Program “On compulsory medical examination of children for 2013-2017”.
 8. Decree of the President of the Republic of Azerbaijan dated August 9, 2018 no. 393 on the approval of the State Program “On compulsory medical examination of children for 2018-2022”.
 9. Bell N., Grad R., Dickinson J., et al. Better decision making in preventive health screening: Balancing benefits and harms. *Can. Fam. Physician*, 2017, vol. 63, no. 7, pp. 521-524. <https://www.cfp.ca/content/cfp/63/7/521.full.pdf>
 10. Weber P, Jenni O. Screening in child health: studies of the efficacy and relevance of preventive care practices. *Dtsch. Arztebl. Int.*, 2012, vol. 109, no. 24, pp. 431-435. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0431>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Мустафаева Закия Муслимовна, заместитель председателя

Агентство Пищевой Безопасности Азербайджанской Республики;
Азербайджанский Государственный Институт Усовершенствования Врачей имени А.Алиева
пр-т Гейдара Алиева, 185В, г. Баку, AZ1029, Азербайджан; просп. Тбилиси, 3165, г. Баку, AZ1012, Азербайджан
lala.rustamova.1967@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Zakiyya M. Mustafayeva, Deputy Chairman

Food Safety Agency of the Republic of Azerbaijan; Azerbaijan State Advanced Training Institute for Doctors named by A.Aliyev
185B, H. Aliyev Ave., Baku, AZ1029, Azerbaijan; 3165, Tbilisi Ave., Baku, AZ1012, Azerbaijan
lala.rustamova.1967@mail.ru

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-74-88

УДК 547.79:547;222-224; 632.95.024

ИНСЕКТИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ АЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ 5-(П-АМИНОФЕНИЛ)- 1,3,4-ОКСАДИАЗОЛ-2-ТИОНА

*С.М. Тураева, Д.С. Исмаилова,
С.Х. Муратова, С.Б. Аллокулова*

Цель. Изучение инсектицидной активности производных 1,3,4-оксадиазолов в отношении сокососущих вредителей садовых культур (*Aphis pomi*) и декоративных растений (*Macrosiphum rosae*).

Методы и материалы исследования. Материалами для исследований послужили алкилпроизводные 5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тиона, формулы которых приведены в тексте статьи, взрослые особи яблоневой тли (*Aphis pomi*) и розовой тли (*Macrosiphum rosae*). Методы исследования: первичный скрининг инсектицидной активности изучали методом инкубации в чашках Петри взрослых особей насекомых-вредителей. Насекомых подвергали действию веществ в течение 24 часов.

Результаты. Сокососущий вредитель – тля наносит значительный вред растениям, распространяя различные вирусы, поражающие сельскохозяйственные культуры. Для борьбы с сокососущими вредителями необходимы средства химической защиты растений с малой токсичностью для окружающей среды. По результатам скрининга доказано, что биологическая эффективность веществ 2-гексилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (1), 2-октилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3) и 2-нонилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) составляла 98.0%, 97.0% и 99.5% в отношении особи *M. rosae*. Под воздействием 2-гексилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазо-

ла (1), 2-октилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3) и 2-нонилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (4) в дозе 5.0 мг/мл смертность особей *A. pomi* достигла 99.0%, 83.0% и 90.0%, соответственно.

Впервые изучена летальная концентрация (LC50) 2-гексилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (1), 2-гептилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (2), 2-октилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3), 2-нонилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (4) при контактном действии с насекомым.

Заключение. Таким образом, поиск и создание инсектицидов низкой токсичности для окружающей среды, предотвращающие возникновение резистентности на основе алкилпроизводных 5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тиона в защите растений является актуальным направлением.

Исследование показало, что 2-гексилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1), 2-октилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3) и 2-нонилтио-5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) в концентрации 0.5 мг/мл сильно токсичны для особей *M. rosae* и *A. pomi*.

Работа по использованию алкилпроизводных 5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов в качестве сельскохозяйственных средств защиты будут продолжены.

Ключевые слова: инсектицид; активность; алкилпроизводные; 5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тион; скрининг; биологическая эффективность; *Aphis pomi*; *Macrosiphum rosae*

Для цитирования. Тураева С.М., Исмаилова Д.С., Аллакулова С.Б., Муратова С.Х. Инсектицидная активность алкилпроизводных 5-(*n*-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тиона // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 74-88. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-74-88

INSECTICIDAL ACTIVITY OF ALKYL DERIVATIVES 5-(*P*-AMINOPHENYL)-1,3,4-OXADIAZOL-2-THIONE

*S.M. Turaeva, D.S. Ismailova,
S.Kh. Muratova, S.B. Allokulava*

Purpose: Study of the insecticidal activity of 1,3,4-oxadiazole derivatives against sap-sucking pests of garden crops (*Aphis pomi*) and ornamental plants (*Macrosiphum rosae*).

Methods and materials of the research: The material for the research was the alkyl derivatives of 5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thione given in the text of the article. Adults of apple aphid (*Aphis pomi*) and rose aphid (*Macrosiphum*

rosae). *Research methods:* primary screening for insecticidal activity was studied by incubating adult insect pests in Petri dishes. The insects were exposed to the substances for 24 hours.

Results: Sap-sucking pests – aphids cause significant harm to plants by spreading various viruses that greatly harm agricultural crops. To combat sap-sucking pests, chemical plant protection products with low toxicity to the environment are needed. According to the results of screening, it was proved that the biological effectiveness of substances 2-hexylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (1), 2-octylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (3) and 2-nonylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (4) was 98.0%, 97.0% and 99.5% in relation to *M. rosae*. Under the influence of 2-hexylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (1), 2-octylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (3) and 2-nonylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (4) at a dose of 5.0 mg/ml, the mortality of an individual *A. pomi* reached 99.0%, 83.0% and 90.0%, respectively.

The first studied lethal concentration (LC50) 2-hexylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (1), 2-heplthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (2), 2-octylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (3), 2-nonylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (4) with contact action.

Conclusion: Thus, the creation of low toxicity insecticides that prevent the emergence of resistance based on alkyl derivatives of 5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thione in plant protection may become topical directions.

The study showed that the substances 2-hexylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (1), 2-octylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole (3) and 2-nonylthio-5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4 oxadiazole (4) at 0.5 mg/ml concentrations are highly toxic for *M. rosae* and *A. pomi*.

Research can be continued on the use of alkyl derivatives of 5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thiones as agricultural remedies.

Keywords: insecticide; activity; alkyl derivatives; 5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thione; screening; biological effectiveness; *Aphis pomi*; *Macrosiphum rosae*

For citation: Turaeva S.M., Ismailova D.S., Allakulova S.B., Muratova S.Kh. Insecticidal activity of alkyl derivatives of 5-(*p*-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thione. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 74-88. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-74-88

Введение

В решение задач повышения эффективности и устойчивости земледелия, увеличения производства продуктов растениеводства в Узбекистане немаловажное значение имеет правильная организация и последователь-

ная системная реализация мероприятий по защите растений. На основе химических синтетических веществ, способствующих ограничению распространения вредных насекомых известны многие способы защиты сельскохозяйственной продукции.

Большой вред наносят растениям сокососущие насекомые растений подотряда *Sternorrhyncha* (из отряда *Hemiptera*), которые включают тлей, щитовок, листоблошек, белокрылок и червецов [1].

Описано около 5000 видов тлей, из них около 300 видов способны переносить различные вирусы, которые сильно вредят сельскохозяйственным культурам. Наиболее распространенными видами являются *Aphis gossypii*, *Aphis fabae*, *Aphis pomi*, *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Macrosiphum rosae* [2]. Путем высасывания сока, они действуют как переносчики растительных вирусов и уродуют декоративные растения отложениями медовой росы и последующим ростом закопченных плесеней. Они способны быстро увеличиваться в численности путем бесполого размножения и телескопического развития, и являются весьма успешной группой организмов с экологической точки зрения [3].

Основным методом борьбы с вредителями является использование инсектицидов, химических действующих веществ, на основе которых могут производиться более сотни инсектицидных средств. Некоторые из них безнадежно устаревают и перестают использоваться вовсе, другие усовершенствуются, формируя собой новые поколения уже существующих химических веществ [4]. Инсектициды не всегда дают надежные результаты, учитывая устойчивость тли к нескольким классам инсектицидов [5].

Органические соединения класса оксадиазолов являются мало изученными. К этой группе соединений относятся 5-арил-1,3,4-оксадиазол-2-тионы с таким немало важным достоинством, как доступность их предшественников - различных производных бензойных кислот. Большое количество работ посвящено проведению реакций алкилирования с алкилирующими агентами различной природы с 5-замещенными-1,3,4-оксадиазол-2-тионами и изучению весьма широкого спектра биологической активности синтезированных соединений [6].

Известно лишь несколько примеров изученных классов органических соединений с потенциальной биологической активностью: 5-гидрокси-4,5-дигидро-1,2,4-оксадиазолы и замещенные трифторэтаном производные 1,2,4-оксадиазолов. Изучена инсектоакарицидная активность этих соединений в отношении клеща (*Ixodes hexagonus*) и сравнена их эффек-

тивность с известными аналогами [7]. Некоторые из производных 1,3,4-оксадиазолов показали высокую ларвицидную и инсектицидную активность против капустной моли (*Plutella xylostella*) [8]. Имеют интерес различные пятичленные гетероциклические системы пиррола, оксадиазола, тиadiaзола, триазола и их производные, поскольку они содержат структурные особенности многих биологически активных соединений.

В литературе имеются сообщения, где реакциями замещенных оксадиазолтионов с различными галоацетамидами синтезированы также S-продукты, обладающие различной биологической активностью: антимикробной [9, 10, 11, 12, 13], противораковой [14, 15, 16], противовоспалительной, антиоксидантной [17] и фунгицидной [18].

Поиск новых видов инсектицидов с высокой активностью, низкой токсичностью, предотвращающих возникновение резистентности и низким содержанием остатков стало актуальной задачей для научных исследователей.

В связи с этим, нами изучена инсектицидная активность алкилпроизводных 1,3,4-оксадиазолов.

Целью нашей работы является изучение инсектицидной активности производных 1,3,4-оксадиазолов в отношении сокососущих вредителей садовых культур (*Aphis pomi*) и декоративных растений (*Macrosiphum rosae*).

Материалы и методы исследования

При взаимодействии 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2 (3Н)-тиона с галоидалкилами гомологического ряда получены исключительно S-алкилпроизводные. Были изучены структуры, физико-химические данные, а также фунгицидная активность синтезированных 2-алкилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазолов [19]. Рабочие растворы 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (1), 2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (2), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3) и 2-нонилтио-5-(п-аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (4) были приготовлены в разных концентрациях: 5.0 мг/мл; 1.0 мг/мл; 0.5 мг/мл; 0.1 мг/мл.

Яблоневая тля (*Aphis pomi*) была взята для опыта с садоводческого участка фермерского хозяйства «Super Garden» Кибрайского района Ташкентской области. Розовая тля (*Macrosiphum rosae*) обнаружена в теплице участке Учхоз Кибрайского района. Насекомые поддерживались в течение 3 дней при температуре 26-27°C в жизнеспособных условиях в отделе органического синтеза и защиты растений Института химии растительных веществ АН РУз.

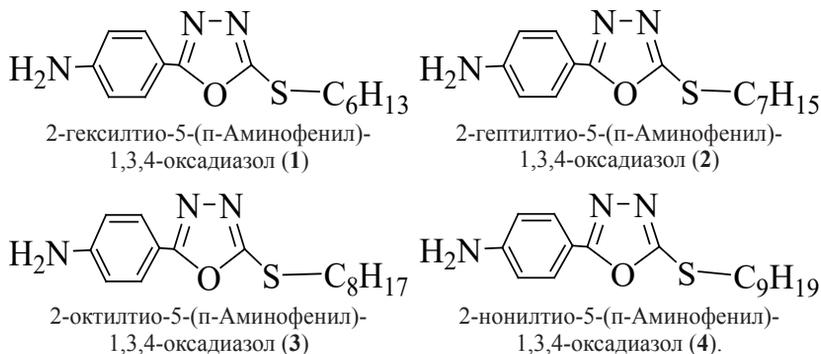


Рис. 1. Структура алкилпроизводных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов

Оценку первичной инсектицидной активности веществ против имаго *A. pomii* и *M. rosae* изучали методом инкубации в чашках Петри [20]. По 20 насекомых были помещены в чашки Петри диаметром 9,0 см. В каждую чашку на круг фильтровальной бумаги (размером 9,0 см) были прилиты раствора активного вещества. Молодые настоящие листья яблони и розы окунали в рабочие растворы. Затем листья помещали в чашки Петри для корма. Насекомых подвергались действию веществ в течение 24 ч при температуре 26-27°C. В качестве эталона использовали зарегистрированные в справочнике разрешенные в Республике Узбекистан инсектициды: Суперкиллер-Е (действующим веществом является Циперметрин) и Багира (действующим веществом является имидаклоприд) [21]. В качестве контроля выбрана дистиллированная вода с добавлением 0.001 мг/мл Tween - 80 на 10 мл воды. Повторность опыта четырехкратная. Через 24 часа инкубации проводили учет уровня смертности имаго насекомых-вредителей. Биологическую эффективность веществ рассчитывали по формуле Шнейдера-Орелли [22]. LC_{50} (средняя летальная концентрация) через 24 часа после инкубации, было статистически проанализировано в соответствии с методом, описанным Finney [23]. Математическую обработку полученных данных и расчет статистических параметров проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel 2016.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного тестирования было установлено, что 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3) и 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) в

5,0 мг/мл концентрации сильно токсичны для *M. rosae* 98.0%, 97.0% и 99.5% соответственно. Смертность *A. pomi* при инкубации с 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазолом (1), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазолом (3) и 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазолом (4) в дозе 5.0 мг/мл достигала 99.0%, 83.0% и 90.0%, соответственно. Несколько слабее смертность наблюдалась при воздействии 2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазолом (2) в дозе 5.0 мг/мл в отношении особей *M. rosae* и *A. pomi* (73.0%-52.5%) (рис.1). Гибель *M. rosae* и *A. pomi* при инкубации с веществами 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3) и 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) в концентрациях 1.0 мг/мл-0.5 мг/мл составляла от 65.0% до 92.0%. 2-Гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (2) в дозе 0.1 мг/мл показал умеренную инсектицидную активность (18.5%-25.0%) против этих двух видов вредителей. Была зафиксирована смертность от 36.0% до 50.0% имаго *M. rosae* и *A. pomi* при воздействии веществ 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (1), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3) и 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (4) в концентрации 0.1 мг/мл (рис. 1, рис. 2). В контрольном варианте смертность *M. rosae* и *A. pomi* составила 3.5 – 5.0%. Эффективность этого показателя в случае эталонов Суперкиллер-Е и Багира достигла 95.0%-99.0 и 95.0%-97.0%, соответственно (рис. 1, 2).

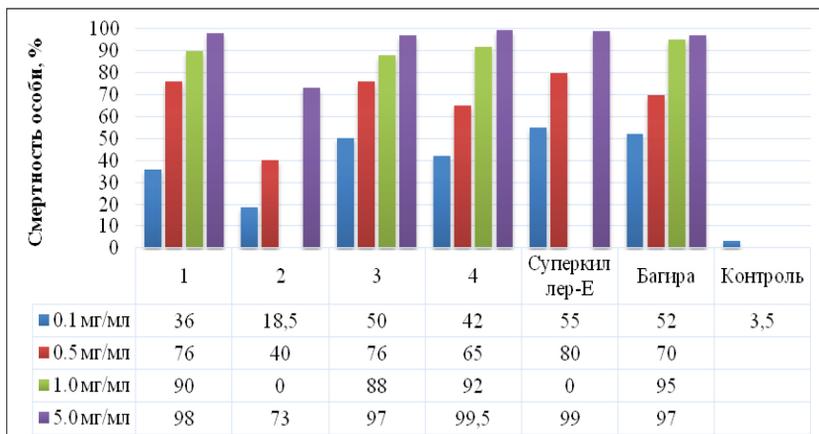


Рис. 2. Инсектицидная активность алкилпроизводных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов в отношении *Macrosiphum rosae*

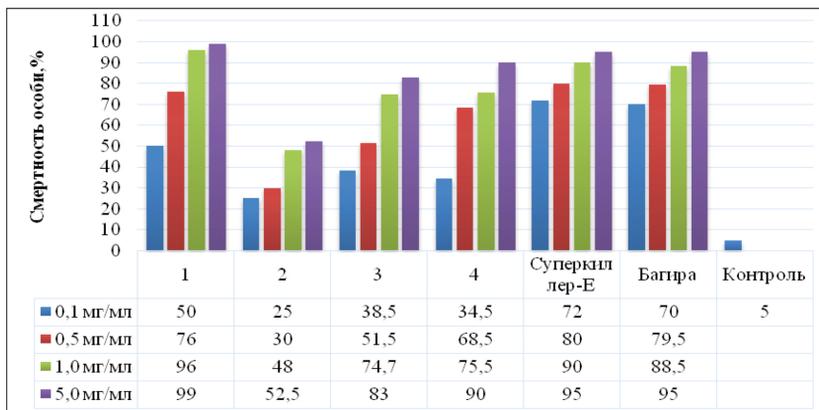


Рис. 3. Инсектицидная активность алкилпроизводных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов в отношении *Aphis pomi*

Инсектицидная токсичность алкилпроизводных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов при контактном действии показывает значения LC_{50} 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1) – 0.13 мг/мл, 2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (2) – 1.1 мг/мл, 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3) – 0.1 мг/мл, 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) – 0.54 мг/мл для имаго *M. rosae*. В отношении имаго *A. pomi* значения LC_{50} составляла 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1) – 0.12 мг/мл, 2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (2) – 1.2 мг/мл, 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3) – 0.25 мг/мл, 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) – 0.3 мг/мл соответственно.

Таблица 1.

LC_{50} (мг/мл) алкилпроизводных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов в течение 24 часа после контактного действия на имаго *Aphis pomi* и *Macrosiphum rosae*

Вариант	Тест-объекты	LC_{50} , (интервал) мг/мл	Отклонение, \pm стандартная ошибка
2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1)	<i>Macrosiphum rosae</i>	0.170 (0.084-0.346)	1.619 \pm 0.157
	<i>Aphis pomi</i>	0.116 (0.055-0.248)	1.620 \pm 0.167
2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (2)	<i>Macrosiphum rosae</i>	0.753 (0.273- 2.078)	0.933 \pm 0.225
	<i>Aphis pomi</i>	3.011 (0.421- 21.51)	0.469 \pm 0.436

Окончание табл. 1.

2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3)	<i>Macrosiphum rosae</i>	0.103 (0.039- 0.272)	1.121±0.216
	<i>Aphis pomi</i>	0.259 (0.076-0.880)	0.775± 0.271
2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4)	<i>Macrosiphum rosae</i>	0.163 (0.076-0.350)	1.472±0.169
	<i>Aphis pomi</i>	0.212 (0.077-0.580)	0.980±0.224

Заключение

2-Гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (1), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (3) и 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (4) в концентрации 0.5 мг/мл оказались сильно токсичными для сокососущих вредителей плодовых и декоративных культур, а именно против *M. rosae* и *A. pomi*.

Гибель *M. rosae* и *A. pomi* при инкубации веществами 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (1), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3) и 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (4) в концентрациях 1.0 мг/мл-0.5 мг/мл составляла от 65.0% до 92.0%.

Наименьшую инсектицидную активность (73.0%-52.5%) показал 2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол (2) в дозе 5.0 мг/мл, в отношении особей *M. rosae* и *A. pomi*.

Летальная концентрация (LC_{50}) 2-гексилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (1), 2-гептилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (2), 2-октилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (3), 2-нонилтио-5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазола (4) при контактном действии на *M. rosae* имеет значения LC_{50} 0.13 мг/мл, 1.1 мг/мл, 0.1 мг/мл и 0.54 мг/мл соответственно. В отношении *A. pomi* значения LC_{50} составляли 0.12 мг/мл, 1.2 мг/мл, 0.25 мг/мл и 0.3мг/мл, соответственно.

Практическая значимость

Рекомендуется продолжение исследований по использованию алкилпроизводных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тионов в качестве сельскохозяйственных средств защиты растений.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Блекер П.М., Амент К., Диргарде П.Й., Де Бот М.Т.Я., Схюринк Р.К., Способы отпугивания белокрылок. Патент России. RU2484628C2, WO 2009/041814 (02.04.2009). С. 4.
2. Васильев В.П., Лившиц И.З. Вредители плодовых культур. М.: Колос, 1984. С. 399.
3. Piper, Ross. Extraordinary Animals: An Encyclopedia of Curious and Unusual Animals. Greenwood Press, 2007. P. 6-9.
4. Ольга Попова Витальевна [Инсектициды: классификация по видам]. <https://dezoff.ru/sredstva/insektitsidy/>
5. Исмаилова Д.С. Синтез и химические превращения производных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тиона: Дис.д-ра АН РУз., Ташкент, 2019. С. 15-16.
6. Шетнев А.А., Преснухина С.И. Синтез 5-гидрокси-4,5-дигидро-1,2,4-оксадиазол-5-олов. Естественное: исследования и обучение // Материалы конференции «Чтения Ушинского». Ярославль, 2020. С. 299.
7. Qi Liu, Kai Chen, Qiang Wang, Jueping Ni, Yufeng Li, Hongjun Zhu, Yuan Ding. Synthesis, insecticidal activity, structure–activity relationship (SAR) and density functional theory (DFT) of novel anthranilicdiamides analogs containing 1,3,4-oxadiazole rings // RSC Adv. 2014. №4. P. 55445-55451. <https://doi.org/10.1039/C4RA06356B>
8. Aziz-ur Rehman, Abbasi M.A., Siddiqui S.Z., et al. Synthesis of 2-{(5-phenyl-1,3,4-oxadiazol-2-yl)sulfonyl}-N-substituted acetamides as potential antimicrobial and hemolytic agents // Pak. J. Pharm. Sci. 2016. Vol. 29. Iss. 3. P. 801–809.
9. Yasir A., Jahangir M., Aziz-ur-Rehman, Ishtiaq S., Shahid M. Antimicrobial, hemolytic and thrombolytic activities of some new N-substituted-2-({5- [(1E,3E) F-4-(1,3-benzodioxol-5-yl)-1,3-butadienyl]-1,3,4-oxadiazol-2-yl} sulfonyl) propanamides // Trop. J. Pharm. Res. 2017. Vol. 16. Iss. 8. P. 1973–1981. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v16i8.30>
10. Patel K.S., Raval K.N., Patel Sh. P., Patel A.G., Patel S.V. A review on synthesis and biological activities of pyrimidine derivatives // Inter. J. Pharm. Biol. Sci. 2012. Vol. 2. P. 170–182.
11. Myers M.C., Shah P.P., Diamond S.L., Huryna D.M., Smith A.B. Identification and synthesis of aunique thiocarbazate cathepsin L inhibitor // Bioorg. Med. Chem. Let. 2008. Iss. 18. P. 210–214. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2007.10.107>
12. Shah H.P. Synthesis of novel 1,3,4-oxadiazole derivatives and their biological properties // Org. Chem. Indian J. 2012. Iss. 8. P. 367–369. <https://www.tsjournal>

- nals.com/articles/synthesis-of-novel-134oxadiazole-derivatives-and-their-biological-properties.pdf
13. Aziz-ur-Rehman, Fatima A., Abbasi M. A., Rasool Sh., Malik A., Ashraf M., Ahmad I., Ejaz S. A. Synthesis of new N-(5-chloro-2-methoxyphenyl)-4-(5-substituted-1,3,4-oxadiazol-2-ylthio) butanamide derivatives as suitable lipoxigenase inhibitors // J. Saudi Chem. Soc. 2016. Vol. 20, no. S1. P. S488–S494. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2013.02.006>
 14. Kotaiah Y., Harikrishna N., Nagaraj K., Venkata Rao C. Synthesis and antioxidant activity of 1,3,4-oxadiazole targeted thieno [2,3-d] pyrimidine derivatives // J. Eur. Med. Chem. 2012. Vol. 58. P. 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2012.10.007>
 15. Akhtar T., Hameed Sh., Al-Masoudi N. A., Loddo R., Colla P. In vitro antitumor and antiviral activities of new benzothiazole and 1,3,4-oxadiazole-2-thione derivatives // Acta Pharm. 2008. № 58. P. 135–149. <https://doi.org/10.2478/v10007-008-0007-2>
 16. Rajasekaran S., Gopalkrishna Rao, Abhishek Chatterjee. Anti-Inflammatory and Anti-oxidant activity of some substituted Benzimidazole Derivatives // Inter. J. Drug Dev. Res. 2012. Vol. 4. Iss. 3. P. 303–309.
 17. Swarnkar D., Ameta R., Vyas R. Microwave-assisted synthesis of some 1,3,4-oxadiazole derivatives and evaluation of their antibacterial and antifungal activity // Res. Article Org. Chem. Inter. 2014, Article ID 694060. P. 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/694060>
 18. Ismailova D.S., Ziyaev A.A., Elmuradov B. Z., Toshmurodov T.T., Bobakulov Kh.M., Zakirova R.P. Targeted synthesis and in vitro bactericidal and fungicidal activities of 2-alkylthio-5-(p-aminophenyl)-1,3,4-oxadiazoles // Journal of Basic and Applied Research. 2016. Vol. 2. No 4. pp. 476-479. <https://doi.org/10.1007/s13738-018-1530-9>
 19. Берестецкий А.О., Григорьева Е.Н., Петрова М.О., Степанычева Е.А. Инсектицидные и фитотоксические свойства экстрактов из культур некоторых патогенов злаков // Микология и фитопатология. 2018. Т. 52, № 6. С. 408–419. <https://doi.org/10.1134/S0026364818060016>
 20. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения в сельском хозяйстве республики Узбекистан. Ташкент: Госхимкомиссия, 2013. С. 26.
 21. Puntener, W. Manual for Field Trials in Plant Production. 2nd Edition, Cibar-Geigy Limited Basele, 51, 1981. P. 205.
 22. Finney D.J. Probit Analysis. 3rd Ed. London, Cambridge University Press, 1971.

References

1. Bleker P. M., Ament K., Dirgarde P. J., De bot M. T. J., Sxjurink R. K. Methods of scaring white flies. Patent Russia RU2484628C2, WO 2009/041814 (02.04.2009), p. 4.
2. Vasil'ev V.P., Livshits I.Z. *Vrediteli plodovoykh kul'tur* [Pests of fruit crops]. M.: Kolos, 1984, p. 399.
3. Piper, Ross. Extraordinary Animals: An Encyclopedia of Curious and Unusual Animals. *Greenwood Press, 2007, pp. 6-9.*
4. Olga Popova Vitalievna [Insecticides: classification by species]. <https://dezoff.ru/sredstva/insektitsidy/>
5. Ismailova D.S. *Sintez i khimicheskie prevrashcheniya proizvodnykh 5-(p-Aminofenil)-1,3,4-oksadiazol-2-tiona* [Synthesis and chemical transformations of 5- (p-Aminophenyl) -1,3,4-oxadiazole-2-thione derivatives]. Tashkent, 2019, pp. 15-16.
6. Shetnev A.A., Presnukhina S.I. *Sintez 5-gidroksi-4,5-digidro-1,2,4-oksadiazol-5-olov. Estestvoznaniye: issledovaniya i obuchenie* [Synthesis of 5-hydroxy-4,5-dihydro-1,2,4-oxadiazol-5-ols. Natural science: research and teaching]. *Materialy konferentsii «Chteniya Ushinskogo»* [Materials of the conference "Readings of Ushinsky"]. Yaroslavl, 2020, p. 299.
7. Qi Liu, Kai Chen, Qiang Wang, Jueping Ni, Yufeng Li, Hongjun Zhu, Yuan Ding. Synthesis, insecticidal activity, structure–activity relationship (SAR) and density functional theory (DFT) of novel anthranilicdiamides analogs containing 1,3,4-oxadiazole rings. *RSC Adv.*, 2014, no. 4, pp. 55445-55451. <https://doi.org/10.1039/C4RA06356B>
8. Aziz-ur Rehman, Abbasi M.A., Siddiqui S.Z., et al. Synthesis of 2-{(5-phenyl-1,3,4-oxadiazol-2-yl)sulfanyl}-N-substituted acetamides as potential antimicrobial and hemolytic agents. *Pak. J. Pharm. Sci.*, 2016, vol. 29, no. 3, pp. 801–809.
9. Yasir A., Jahangir M., Aziz-ur-Rehman, Ishtiaq S., Shahid M. Antimicrobial, hemolytic and thrombolytic activities of some new N-substituted-2-({5- [(1E,3E) F-4-(1,3-benzodioxol-5-yl)-1,3-butadienyl]-1,3,4-oxadiazol-2-yl} sulfanyl) propanamides. *Trop. J. Pharm. Res.*, 2017, vol. 16, iss. 8, pp. 1973–1981. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v16i8.30>
10. Patel K.S., Raval K.N., Patel Sh. P., Patel A.G., Patel S.V. A review on synthesis and biological activities of pyrimidine derivatives. *Inter. J. Pharm. Biol. Sci.*, 2012, vol. 2, pp. 170–182.
11. Myers M.C., Shah P.P., Diamond S.L., Huryna D.M., Smith A.B. Identification and synthesis of aunique thiocarbazate cathepsin L inhibitor. *Bioorg. Med. Chem. Let.*, 2008, iss. 18, pp. 210–214. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2007.10.107>

12. Shah H.P. Synthesis of novel 1,3,4-oxadiazole derivatives and their biological properties. *Org. Chem. Indian J.*, 2012, iss. 8, pp. 367–369. <https://www.tsjournals.com/articles/synthesis-of-novel-134oxadiazole-derivatives-and-their-biological-properties.pdf>
13. Aziz-ur-Rehman, Fatima A., Abbasi M. A., Rasool Sh., Malik A., Ashraf M., Ahmad I., Ejaz S. A. Synthesis of new N-(5-chloro-2-methoxyphenyl)-4-(5-substituted-1,3,4-oxadiazol-2-ylthio) butanamide derivatives as suitable lipo-xygenase inhibitors. *J. Saudi Chem. Soc.*, 2016, vol. 20, no. S1, pp. S488–S494. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2013.02.006>
14. Kotaiah Y., Harikrishna N., Nagaraj K., Venkata Rao C. Synthesis and antioxidant activity of 1,3,4-oxadiazole targeted thieno [2,3-d] pyrimidine derivatives. *J. Eur. Med. Chem.*, 2012, vol. 58, pp. 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2012.10.007>
15. Akhtar T., Hameed Sh., Al-Masoudi N. A., Loddo R., Colla P. In vitro antitumor and antiviral activities of new benzothiazole and 1,3,4-oxadiazole-2-thione derivatives. *Acta Pharm.*, 2008, no. 58, pp. 135–149. <https://doi.org/10.2478/v10007-008-0007-2>
16. Rajasekaran S., Gopalkrishna Rao, Abhishek Chatterjee. Anti-Inflammatory and Anti-oxidant activity of some substituted Benzimidazole Derivatives. *Inter. J. Drug Dev. Res.*, 2012, vol. 4, iss. 3, pp. 303–309.
17. Swarnkar D., Ameta R., Vyas R. Microwave-assisted synthesis of some 1,3,4-oxadiazole derivatives and evaluation of their antibacterial and antifungal activity. *Res. Article Org. Chem. Inter.*, 2014, Article ID 694060, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/694060>
18. Ismailova D.S., Ziyaev A.A., Elmuradov B. Z., Toshmurodov T.T., Bobakulov Kh.M., Zakirova R.P. Targeted synthesis and in vitro bactericidal and fungicidal activities of 2-alkylthio-5-(p-aminophenyl)-1,3,4-oxadiazoles. *Journal of Basic and Applied Research*, 2016, vol. 2, no 4, pp. 476–479. <https://doi.org/10.1007/s13738-018-1530-9>
19. Berestetskiy A.O., Grigoryeva E.N., Petrova M.O., Stepanycheva E.A. Insektitsidnye i fitotoksicheskie svoystva ekstraktov iz kul'tur nekotorykh patogenov zlakov [Insecticidal and phytotoxic properties of extracts from crops of some pathogens of cereals]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikology and phytopathology], 2018, vol. 52, no. 6, pp. 408–419. <https://doi.org/10.1134/S0026364818060016>
20. *Spisok pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh dlya primeneniya v sel'skom khozyaystve respubliki Uzbekistan* [List of pesticides and agrochemicals permitted for use in agriculture of the Republic of Uzbekistan]. Tashkent: Goskhimkomissiya, 2013, p. 26.
21. Puntener, W. *Manual for Field Trials in Plant Production*. 2nd Edition, Cibar-Geigy Limited Basele, 51, 1981, p. 205.
22. Finney D.J. *Probit Analysis*. 3rd Ed. London, Cambridge University Press, 1971.

ВКЛАД АВТОРОВ

Тураева С.М.: Планирование и проведение первичного скрининга веществ на инсектицидную активность, сбор данных и статистический анализ, написание и проверка рукописи.

Исмаилова Д.С.: Планирование эксперимента, синтез алкильных производных 5-(п-аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тиона, написание и проверка химических частей рукописи.

Муратова С.Х.: Синтез алкильных производных 5-(п-Аминофенил)-1,3,4-оксадиазол-2-тиона.

Аллокулова С.Б.: Проведение первичного скрининга веществ на инсектицидную активность, сбор данных и статистический анализ.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Saida M. Turayeva: Planning and performance of primary screening of substances for insecticidal activity, data collection and statistical analysis, writing and checking manuscript.

Dilnoza S. Ismailova: Design experiment, the synthesis of alkyl derivatives of 5-(p-aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thione, writing and checking of chemical parts of manuscript.

Saida Kh. Muratova: Synthesis of 5-(p-Aminophenyl)-1,3,4-oxadiazole-2-thione.

Sitorabonu B. Allokulova: Performance of primary screening of substances for insecticidal activity, data collection and statistical analysis

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тураева Саида Муратовна, младший научный сотрудник отдела Органического синтеза и защиты растений Института химии растительных веществ

Академия Наук Республики Узбекистан

ул. Мирзо Улугбек, 77, г. Ташкент, 100170, Республика Узбекистан

saidaicps@gmail.com

Исмаилова Дилноза Сафаралиевна, старший научный сотрудник PhD отдела Органического синтеза и защиты растений Института химии растительных веществ

Академия Наук Республики Узбекистан

ул. Мирзо Улугбек, 77, г. Ташкент, 100170, Республика Узбекистан

d.jalilova@mail.ru

Муратова Саида Хакимовна, ассистент, преподаватель кафедры «Общей и нефтегазовой химии» Химического факультета
Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека
ул. Университетская, 4, г. Ташкент, 100174, Республика Узбекистан
saidamuratova58@gmail.com

Аллокулова Ситорабону Бобир кизи, лаборант отдела Органического синтеза и защиты растений Института химии растительных веществ
Академия Наук Республики Узбекистан
ул. Мирзо Улугбек, 77, г. Ташкент, 100170, Республика Узбекистан
allakulovasita@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Saida M. Turayeva, Junior Researcher, Department of Organic Synthesis and Plant Protection of the Institute of Chemistry of Plant Substances
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
77, Mirzo Ulug'bek Str., Tashkent, 100170, Republic Uzbekistan
saidaicps@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7899-7136

Dilnoza S. Ismailova, Senior Researcher, PhD, Department of Organic Synthesis and Plant Protection Institute of Chemistry of Plant Substances
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
77, Mirzo Ulug'bek Str., Tashkent, 100170, Republic Uzbekistan
d.jalilova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4629-728X

Saida Kh. Muratova, Assistant, Department of General and Oil and Gas Chemistry Faculty of Chemistry
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek
4, Universitetskaya Str., Tashkent, 100174, Republic Uzbekistan
saidamuratova58@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1547-0596

Sitorabonu B. Allokulova, Laborant, Department of Organic Synthesis and Plant Protection, Institute of Chemistry of Plant Substances
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
77, Mirzo Ulug'bek Str., Tashkent, 100170, Republic Uzbekistan
allakulovasita@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4416-2955

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102

UDC 636.084.1

USE OF THE ORGANOMINERAL FEED ADDITIVES FOR RAISING YOUNG CATTLE IN THE CONDITIONS OF YAKUTIA

M.F. Grigorev, A.I. Grigoreva, A.A. Sidorov, A.V. Popova

The article presents results of studies of the effectiveness of the organomineral feed additives from natural raw materials using in the raising young cattle in the conditions of Yakutia. The research was carried out on cattle, which were divided into three equal groups. The selection of animals was carried out taking into account the method of analogs, where such parameters as age, live weight, clinical indicators were taken into account. In accordance with the research program, cattle from two experimental groups consumed experimental feed additives, while animals from the control group were solely given the basic ration. The inclusion of organomineral feed additives into the ration of gobies made it possible to increase the live weight at the end of rearing by 3.3% and 5.47%. These changes are best expressed in growth rate over periods. In the experimental groups the growth rate indicators improved in the 9-12-month-old period by 2.42% and 3.23%, at the 12-15 months of age by 0.57% and 0.85%, and at 15-18 months of age by 16.01% and 24.47%. Thus, the use of organomineral feed additives from natural raw materials in feeding of young cattle in Yakutia it possible to improve the efficiency of their rearing.

Keywords: *cattle raising; feed additives; efficiency; growth rate; live weight*

For citation. *Grigorev M.F., Grigoreva A.I., Sidorov A.A., Popova A.V. Use of the Organomineral Feed Additives for Raising Young Cattle in the Conditions of Yakutia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 89-102. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

М.Ф. Григорьев, А.И. Григорьева, А.А. Сидоров, А.В. Попова

В статье представлены результаты исследований эффективности использования органоминеральных кормовых добавок из природного сырья в

выращивании молодняка крупного рогатого скота в условиях Якутии. Исследования проводили на выращиваемых бычках, которые разделили равные три группы. Отбор животных проведен с учетом метода аналогов, где учитывали такие параметры как возраст, живая масса, клинические показатели. В соответствии с программой исследований животные из двух опытных групп потребляли экспериментальные кормовые добавки, а животные из контрольной группы получали исключительно основной рацион. Включение органоминеральных кормовых добавок в рацион бычков позволило повысить показатели живой массы в конце выращивания на 3.3% и 5.47%. Эти изменения лучше выражены в скорости роста по периодам выращивания. Так в опытных группах показатели скорости роста улучшились в 9-12-месячном возрастном периоде выращивания на 2.42% и 3.23%, в 12-15-месячном возрасте на 0.57% и 0.85%, а в 15-18-месячном возрасте на 16.01% и 24.47%. Таким образом, использование органоминеральных кормовых добавок из природного сырья в кормлении молодняка крупного рогатого скота в условиях Якутии позволило улучшить эффективность их выращивания.

Ключевые слова: *скотоводство; кормовые добавки; продуктивность; среднесуточный прирост; живая масса*

Для цитирования. Григорьев М.Ф., Григорьева А.И., Сидоров А.А., Попова А.В. Использование органоминеральных кормовых добавок при выращивании молодняка крупного рогатого скота в условиях Якутии // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 89-102. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102

Introduction

In order to improve the animal feeding in terms of nutritional, mineral and vitamin components, their rations include various feed additives that contain the necessary deficient nutrients. Therefore, the development of new feed additives with an appropriate level is of particular relevance for the animal husbandry [1, 2, 3].

When organizing full-fledged feeding of animals and birds, an important task is to balance their rations. As a solution, various feed additives can be used to best effective use of the nutritional components of the rations [4, 5, 6, 7].

Zeolites in cattle feeding have shown their effectiveness, but different recommendations indicate different doses and results. This is explained by the fact that zeolites from different deposits have different chemical composition and, accordingly, crystal structure. Therefore, zeolites have different levels of sorption and ion-exchange properties [8, 9, 10].

The use of zeolites in various areas of production has proven the effectiveness and prospects of widespread use in agriculture. As a consequence, this became the basis for further search of other zeolite deposits in different countries and regions of the Russian Federation. In the Republic of Sakha (Yakutia), the first zeolite deposit was discovered in 1978 by employees of the Institute of Geology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Since that time, the first studies of the possibility of zeolite from the Khonguru deposit from the Suntarsky district in the industry of Yakutia. The practical possibilities of introducing zeolite hongurin in the oil and the gas industry, construction, mineral resource extraction, environmental protection, agro-industrial complex and other areas of industry were scientifically substantiated [11].

According to information [12], nitrogen-containing substances in the composition of sapropel occupy up to half by weight, carbohydrates can occupy up to 40 % and bitumen compounds, respectively, can reach up to 10 %. The sapropel composition is represented by compounds of calcium, phosphorus, sodium, potassium, magnesium, silicon, iron, aluminum, zinc, copper, manganese, cobalt, iodine, molybdenum, nickel, and other substances, as well as vitamins (D, group B), humic acids, hormone-like substances, antibiotics, and other biologically active compounds. The use of a preparation based on sapropel helps to increase the muscle tone animals, while the most effective treatment for endometritis was established with use of the drug in combination with massage and infrared irradiation.

In connection with the above, there is an increasing need for research on the possibility of including feed additives from sapropel and zeolite in animal feeding.

The aim of the research was to study the effect of feed additives from sapropel and zeolite on the indicators of changes in live weight of Simmental young bulls in the conditions of Yakutia.

Materials and methods

In scientific experiment, the influence of feed additives of sapropel and zeolite hongurin + Kempendyai salt on the growth and development of young Simmental cattle. The experiment grown young cattle was organized in conditions in the Suntarsky region. The experiments were organized on young cattle of the Simmental breed, which were divided into the three groups of 12 animals. The method of analogs was used to select animals. The conditions of detention for all experimental animals were the same, which were kept in the cattle house in the cold season, and in the warm season on pasture. Feeding provided the animals

with all nutrients at the required rates. According to the experimental conditions, the difference between the control group and the experimental groups was that the animals received feed additives in different doses along with ration. Animals from experimental group II consumed sapropel 0.6 g/kg of live weight, zeolite hongurin at the rate of 0.7 g/kg of live weight together with 33 g of Kempendyai salt. In ration of animals of experimental group III was supplemented with: sapropel 0.7 g/kg of live weight, zeolite hongurin 0.7 g/kg of live weight and 33 g of Kempendyai salt. Changes in the growth of animals were determined by weighing monthly and determining the average daily gain.

The chemical composition of zeolite hongurin is presented in articles [13, 14]. The chemical composition of sapropel is presented in Table 1.

Table 1.

Sapropel chemical composition

Indicators	Content
Water, %	92.09
Protein, %	0.47
Fat, %	0.46
Crude fiber, %	0.31
Minerals, %	6.48
Calcium, %	0.18
Phosphorus, %	0.008

Mineral substances are represented by compounds of manganese, zinc, copper, iron, cobalt, molybdenum, iodine and selenium. Method of mechanical extraction of sapropel is used.

Results and discussion

Previously, we conducted experiments to determine the optimal rates for the inclusion of sapropels of local lakes in Yakutia in the rations of cattle in Yakutia [15]. The optimal norms of sapropel in feeding cattle at which the best result is achieved and amounted to 0.6 and 0.7 g / kg of live weight of the animal.

In order to determine the effectiveness of feed additives, which include sapropel, zeolite hongurin and Kempendyai salt, a scientific experiment was carried out in the Suntarsky district of the Republic of Sakha (Yakutia). The experiment was organized on 3 groups of Simmental cattle bulls at the age of 6-18 months. Each group consists of 12 animals.

The conditions of maintenance for all animals, regardless of the group, were identical, except that the gobies of the experimental groups were fed with or-

ganomineral feed additives (according to the experiment program). The winter average daily ration of the Simmental bulls at 9 months of age per head per day is presented in Table 2.

Table 2.

Average daily ration of the Simmental bulls at 9 months of age

Indicators	Norm	Groups		
		I - control	II - experimental	III - experimental
Meadow hay, kg		5	5	5
Compound feed, kg		0,5	0,5	0,5
Herb haylage, kg		3	3	3
the ration contains:				
Exchange energy, MJ	38	43.05	43.05	43.05
Dry matter, kg	5	6.07	6.08	6.09
Digestible protein, g	540	563.22	570.76	581.35
Crude fiber, g	990	1720.5	1789.77	1795.53
Starch, g	700	724.15	728.24	730.57
Sugar, g	485	378.23	390.01	397.55
Crude fat, g	190	196.16	208	209.46
Calcium, g	36	36.6	38.57	40.05
Phosphorus, g	22	20.72	22.65	23.92
Sulfur, g	18	20.85	21.02	22.83
Ferrum, g	280	283.41	290.04	317.86
Cuprum, g	40	43.56	44.03	45
Zincum, g	210	194.25	212.82	225.05
Cobaltum, g	2.8	1.65	1.96	2.5
Manganum, g	190	224.25	232.41	249.9
Iodum, g	1.7	1.58	1.7	1.78
Carotene, mg	125	127.1	135.5	135.8
Vitamin D, thousand IU	3	2.38	2.95	3.06
Vitamin E, mg	165	183.01	187.95	186.2
Vitamin B ₁ , mg	-	13.66	13.31	13.12
Vitamin B ₂ , mg	-	36.27	36.05	36.73
Vitamin B ₃ , mg	-	64.61	64.88	64.22
Vitamin B ₄ , g	-	4.29	4.33	4.3
Vitamin B ₅ , mg	-	102.96	103.99	102.77

Analysis of animal feeding indicates a lack of mineral nutrition and sugars according to feeding norms [16]. Marked for phosphorus, zinc, cobalt, iodine

and vitamin D. The inclusion of feed additives in the composition of the rations of the experimental groups made it possible to improve the indices of the content of mineral substances, but also could not eliminate the deficiency in the indicated nutritional elements. The average daily animal ration in the summer is presented in Table 3.

Table 3.

Average daily ration of the Simmental bulls at 15-16 months of age

Indicators	Norm	Groups		
		I - control	II - experimental	III - experimental
Pasture grass, kg		20	20	20
Compound feed, kg		2	2	2
Ration contains:				
Exchange energy, MJ	57	65.2	65.2	65.2
Dry matter, kg	8.2	8.41	8.41	8.41
Digestible protein, g	605	657.76	622.85	635.34
Crude fiber, g	1560	2128.95	2189.23	2210.12
Starch, g	910	932.58	940.1	948.67
Sugar, g	605	616.2	624.34	636.4
Crude fat, g	270	276.53	287.46	293.51
Calcium, g	45	61.24	63.05	64.1
Phosphorus, g	24	26.38	27.47	28.35
Sulfur, g	25	24.6	25.86	26.65
Ferrum, g	490	512.43	587.22	610.48
Cuprum, g	70	71.34	72.77	73.6
Zincum, g	370	376.2	387.63	395.92
Cobaltum, g	4.9	2.75	3.78	4.25
Manganum, g	330	347.51	367.14	375.4
Iodum, g	2.5	2.23	2.5	2.54
Carotene, mg	180	330.45	334.23	337
Vitamin D, thousand IU	3.9	3.9	3.9	3.9
Vitamin E, mg	260	261.56	262.24	262.49
Vitamin B ₁ , mg	-	16.12	16.13	16.14
Vitamin B ₂ , mg	-	49.91	49.97	49.99
Vitamin B ₃ , mg	-	70.29	70.57	70.87
Vitamin B ₄ , g	-	6.62	6.78	6.92
Vitamin B ₅ , mg	-	252	257	259

Based on the above, we can conclude that in the summer, the content of the main nutrient and mineral elements in the rations of the experimental animals was normal. Feed consumption for the period of the experiment is presented in Table 4.

Table 4.

Feed consumption, energy and protein supply of the Simmental cattle breed ration

Indicators	Average per day, kg	Duration, days	Total, kg	Content	
				exchange energy, MJ	digestible protein, kg
Norm	-	-	-	17155	-
Meadow hay	6	245	1470	8673	79.38
Herb haylage	3	120	360	1044	11.16
Pasture grass	20	120	2400	5496	48
Compound feed	1.8	365	657	6372.9	52.56
Total	-	-	-	21585.9	191.1
Protein in the ration, g/EFU	-	-	-	-	88.53
Complies with the norm, %	-	-	-	125.83	-

Thus, an analysis of the feeding of the animals showed that the rations contain sufficient nutrients and metabolizable energy. For some trace elements in the ration cattle, there is a deficiency in their content, which is typical for a biogeochemical province.

The inclusion of experimental feed additives in the daily ration of cattle had a positive effect on metabolism, which was reflected in the live weight of the experimental groups (Table 5).

Table 5.

Dynamics of live weight cattle, kg (M±m, n=12)

Age, months	Groups		
	I - control	II - experimental	III - experimental
6	149±0.89	148±0.88	147.3±0.99
9	206±1.22	207.9±0.97	210.8±1.36*
12	268±1.48	271.4±1.13	274.8±1.15*
15	326.8±1.49	330.5±1.43	334.1±1.53**
18	381.9±1.71	394.5±1.52***	402.8±1.34***
Live weight gain	232.9±2.13	246.5±1.84***	255.4±1.84***

Note: *P>0.95; **P>0.99; ***P>0.999

At the beginning of the experiment, the average live weight in animals was 147.3-149.0 kg. The changes caused by the influence of feed additives influenced the live weight of the cattle in the experimental groups starting from the age of 9 months. At this age, the cattle of the control group conceded the animals in the experimental groups by 0.92 % and 2.33 % ($P>0.95$). At 12 months of age, the animals in control group were lighter than cattle in experimental groups by 1.27 % and 2.24 % ($P>0.95$). Upon reaching the age of 15 months, the animals of control group were inferior to those of experimental groups by 1.13 % and 2.23 % ($P>0.99$). At the end of the experiment, upon reaching 18 months of age, the cattle of the control group were inferior in terms of live weight to animals of experimental groups 2 and 3 by 3.30 % and 5.47 % ($P>0.999$).

These changes are more noticeable when studying the average daily gains of the experimental cattle Simmental breed (Table 6).

Table 6.

Indicators of average daily gains in live weight of cattle, g ($M\pm m$, $n=12$)

Age, months	Groups		
	I - control	II - experimental	III - experimental
6-9 months	633.33±16.18	665.74±15.26	705.56±22.62*
9-12 months	688.89±19.05	705.56±16.67	711.11±19.05
12-15 months	652.78±18.41	656.48±14.5	658.33±11.37
15-18 months	612.96±23.96	711.11±21.71**	762.96±20.12***
For the period	646.99±5.91	684.72±5.11***	709.49±5.12***

Note: * $P>0.95$; ** $P>0.99$; *** $P>0.999$

Experimental research indicates the effectiveness of the inclusion of organomineral feed additives from local raw materials in the feeding of young cattle. During the rearing cattle period of 6-9 months of age, the animal of control group recorded an average of 633.33 g of daily gain, while in experimental groups II and III this figure was 665.74 and 705.56 g per day. But at the same time, cattle from the control group were inferior to animals from experimental groups in the 9-12-month age period by 2.42 % and 3.23 %.

The superiority of animals from experimental groups over cattle in the control group is traced at 12-15 months of age and amounted to 0.57 % and 0.85 %, and at the end of the period at 15-18 months of age by 16.01 % ($P>0.99$) and 24.47 % ($P>0.999$). The period of keeping animal in control group, 646.99 g of gain per day was obtained, while in II and III experimental groups the growth rates were 684.72 and 709.49 g or comparatively more by 5.83 % and 9.66 %, respectively ($P>0.999$).

In order detail the effect of experimental feed additives from local raw materials on the physiological parameters of the Simmental cattle, the biochemical composition of the blood was studied (Table 7).

Table 7.

Animal blood biochemical composition, (M±m)							
Groups	Total protein, g/%	Reserve alkalinity, % CO ₂	Albumin, %	Globulin, %			Protein ratio
				alpha	beta	gamma	
at the beginning of the experiment							
Norm	7.2-8.6	46-66	30-50	12-20	10-16	25-40	0.9-1.2
I - control	7.37 ±0.32	47 ±0.53	44.13 ±0.94	13,73 ±0,15	11,57 ±0,49	26,50 ±0,68	0.9±0.01
II - experimental	7.3 ±0.36	46.17 ±1.3	43.83 ±1.1	13,67 ±0,22	11,50 ±0,59	26,77 ±0,61	0.9±0.01
III - experimental	7.27 ±0.23	46.07 ±1.1	43.73 ±0.76	13,50 ±0,06	11,50 ±0,25	26,80 ±0,38	0.90±0.01
at the end of the experiment							
I - control	7.5 ±0.25	48 ±0.4	46.1 ±1.07	14,03 ±0,41	11,80 ±0,85	26,07 ±0,72	0.91 ±0.04
II - experimental	7.97 ±0.39	48.07 ±0.35	48.5 ±0.47	14,60 ±0,90	12,53 ±0,49	27,40 ±0,62	0.91 ±0.03
III - experimental	8.23 ±0.2	48.83 ±0.84	50.03 ±1.24	15,13 ±0,12	12,40 ±0,59	27,73 ±0,23	0.92 ±0.03

The study of the blood composition of animals showed that the inclusion of feed additives from spropel, zeolite hongurin and Kempendyai salt did not have a negative effect on physiology of animals. This is confirmed by the fact that the data of blood parameters cattle were within the established norms. We note that there is an increase in the level of total protein and its individual blood fractions in the experimental groups consuming feed additives, which indicates a more intensive metabolism, tissue respiration of the body and better growth of animals.

Conclusion

The use of organomineral feed additives contributed to the enrichment of the rations of young cattle and contributed to their more intensive growth. At the end of the study, the livestock of the experimental groups were heavier than the control group by 3.3% and 5.47% ($P > 0.999$).

These changes are more noticeable in average daily body weight gains cattle characterizing the growth rate. Young cattle from experimental groups in all

periods of rearing exceeded the control group: 9-12 months of age by 2.42% and 3.23%, at 12-15 months of age by 0.57% and 0.85%, at 15-18 months of age by 16.01% ($P>0.99$) and 24.47% ($P>0.999$).

The analysis of the biochemical composition of blood cattle also did not establish significant changes, all indicators were within the established norms, which indicates the harmlessness of feed additives. Therefore, the use of organomineral feed additives from sapropel and zeolite hongurin & Kempendyai salt in feeding young cattle in Yakutia.

References

1. Dawood M.A., Koshio S., Esteban M.A. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 950-974. <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12209>
2. Kwiatkowska K., Winiarska-Mieczan A., Kwiecień M. Feed additives regulating calcium homeostasis in the bones of poultry-a review. *Annals of Animal Science*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 303-305. <http://dx.doi.org/10.1515/aoas-2016-0031>
3. Świątkiewicz S., Arczewska-Włosek A., Szczurek W., Calik J., Krawczyk J., Józefiak D. The influence of selected feed additives on mineral utilisation and bone characteristics in laying hens. *Annals of Animal Science*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 781. <http://dx.doi.org/10.2478/aoas-2018-0017>
4. Salem H.B., Smith T. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small ruminant research*, 2008, vol. 77, no. 2-3, pp. 174-194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.008>
5. Abdelnour S.A., El-Hack M.E.A., Swelum A.A., Perillo A., Losacco C. The vital roles of boron in animal health and production: A comprehensive review. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2018, vol. 50, pp. 296-304. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.07.018>
6. Pino F., Urrutia N.L., Gelsinger S.L., Gehman A.M., Heinrichs A.J. Long-term effect of organic trace minerals on growth, reproductive performance, and first lactation in dairy heifers. *The Professional Animal Scientist*, 2018, vol. 34, no. 1, pp. 51-58. <http://dx.doi.org/10.15232/pas.2017-01680>
7. Vila-Donat P., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J. A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, vol. 114, pp. 246-259. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>
8. Marin M.P., Pogurschi E.N., Marin I., Nicolae C.G. Influence of Natural Zeolites Supplemented with Inorganic Selenium on the Productive Performance of Dairy Cows. *Pakistan journal of zoology*, 2020, vol. 52, no. 2, pp. 775-779. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20190829190816>

9. Khachlouf K., Hamed H., Gdoura R., Gargouri A. Effects of zeolite supplementation on dairy cow production and ruminal parameters—a review. *Annals of Animal Science*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 857-877. <http://dx.doi.org/10.2478/aoas-2018-0025>
10. Dragotoiu D., Marin M., Pogurschi E., Dragotoiu T. The efficiency of using zeolites in dairy farms. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 2017, vol. 17, pp. 1129-1136. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.147>
11. Kolodeznikov K.E. *Poleznye iskopaemye Suntarskogo rayona i perspektivy ikh promyshlennogo osvoeniya* [Mineral resources of the Suntarsky district and the prospects for their industrial development]. Yakutsk, 2004. 143 p.
12. Beloborodenko T., Beloborodenko M., Beloborodenko A. Sapropel' i ekologicheski bezopasnye tekhnologii v profilaktike besplodiya korov [Sapropel and ecologically safe technologies in the prevention of cows's infertility]. *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*, 2018, no. 7, pp. 46-52. <https://vestnik-hss.kemsu.ru/ru/storage/view/18947>
13. Grigorev M.F., Sidorov A.A., Grigoreva A.I. and Sysolyatina V.V. Studying the metabolism of horses when feeding them zeolite-sapropel feed additives in the conditions of Yakutia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 548, 2020, 042008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/4/042008>
14. Chernogradskaya N.M., Grigorev M.F., Grigoreva A.I. and Stepanova S.I. The effect of non-traditional feed additives on the metabolism of young pigs in Yakutia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 548, 2020, 022010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/2/022010>
15. Chernogradskaya N.M., Grigorev M.F., Grigoreva A.I., Tatarinova Z.G. Digestibility and Metabolism of Young Cattle in Yakutia after Inclusion of Non-Conventional Feed Additives in their Diet. *Proceedings of IV International Scientific and Practical Conference "Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture"*. Kemerovo (Russia), June 25, 2020. pp. 64-73. <https://doi.org/10.32743/kuz.mepa.2020.64-73>
16. Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Shcheglov V.V., Kleimenov N.I. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh. Spravochnoe posobie* [Rates and rations for feeding farm animals]. Moscow: Russian Agricultural Academy, 2003. 456 p.

Список литературы

1. Dawood M.A., Koshio S., Esteban M.A. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review // *Reviews in Aquaculture*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 950-974. <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12209>

2. Kwiatkowska K., Winiarska-Mieczan A., Kwiecień M. Feed additives regulating calcium homeostasis in the bones of poultry-a review // *Annals of Animal Science*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 303-305. <http://dx.doi.org/10.1515/aoas-2016-0031>
3. Świątkiewicz S., Arczewska-Włosek A., Szczurek W., Calik J., Krawczyk J., Józefiak D. The influence of selected feed additives on mineral utilisation and bone characteristics in laying hens // *Annals of Animal Science*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 781. <http://dx.doi.org/10.2478/aoas-2018-0017>
4. Salem H.B., Smith T. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments // *Small ruminant research*, 2008, vol. 77, no. 2-3, pp. 174-194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.008>
5. Abdelnour S.A., El-Hack M.E.A., Swelum A.A., Perillo A., Losacco C. The vital roles of boron in animal health and production: A comprehensive review // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2018, vol. 50, pp. 296-304. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.07.018>
6. Pino F., Urrutia N.L., Gelsing S.L., Gehman A.M., Heinrichs A.J. Long-term effect of organic trace minerals on growth, reproductive performance, and first lactation in dairy heifers // *The Professional Animal Scientist*, 2018, vol. 34, no. 1, pp. 51-58. <http://dx.doi.org/10.15232/pas.2017-01680>
7. Vila-Donat P., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J. A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination // *Food and Chemical Toxicology*, 2018, vol. 114, pp. 246-259. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>
8. Marin M.P., Pogurschi E.N., Marin I., Nicolae C.G. Influence of Natural Zeolites Supplemented with Inorganic Selenium on the Productive Performance of Dairy Cows // *Pakistan journal of zoology*, 2020, vol. 52, no. 2, pp. 775-779. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20190829190816>
9. Khachlouf K., Hamed H., Gdoura R., Gargouri A. Effects of zeolite supplementation on dairy cow production and ruminal parameters—a review // *Annals of Animal Science*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 857-877. <http://dx.doi.org/10.2478/aoas-2018-0025>
10. Dragotoiu D., Marin M., Pogurschi E., Dragotoiu T. The efficiency of using zeolites in dairy farms // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 2017, vol. 17, pp. 1129-1136. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.147>
11. Колодезников К.Е. Полезные ископаемые Сунтарского района и перспективы их промышленного освоения. Якутск, 2004. 143 с.
12. Белобороденко Т. Сапропель и экологически безопасные технологии в профилактике бесплодия коров / Т. Белобороденко, М. Белобороденко, А. Белобороденко // *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. 2018. № 7. С. 46-52. <https://vestnik-hss.kemsu.ru/ru/storage/view/18947>

13. Grigorev M.F., Sidorov A.A., Grigoreva A.I. and Sysolyatina V.V. Studying the metabolism of horses when feeding them zeolite-sapropel feed additives in the conditions of Yakutia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 548, 2020, 042008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/4/042008>
14. Chernogradskaya N.M., Grigorev M.F., Grigoreva A.I. and Stepanova S.I. The effect of non-traditional feed additives on the metabolism of young pigs in Yakutia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 548, 2020, 022010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/2/022010>
15. Chernogradskaya N.M., Grigorev M.F., Grigoreva A.I., Tatarinova Z.G. Digestibility and Metabolism of Young Cattle in Yakutia after Inclusion of Non-Conventional Feed Additives in their Diet // Proceedings of IV International Scientific and Practical Conference “Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture”. Kemerovo (Russia), June 25, 2020. 2020, pp. 64-73. <https://doi.org/10.32743/kuz.mepa.2020.64-73>
16. Калашников А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. М.: Россельхозакадемия. 2003. 456 с.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Mikhail F. Grigorev, Associate Professor of the Department of General Zootechnics, Faculty of Agricultural Technology
Arctic State Agrotechnological University
3, *Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russian Federation*
grig_mf@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5910-9268

Alexandra I. Grigoreva, Senior lecturer of the Department of Higher Mathematics
North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov
48, *Kulakovsky Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677013, Russian Federation*
shadrina_ai@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5968-2400

Andrey A. Sidorov, Senior Lecturer of Department of Food Technologies and Food Industry, Faculty of Agricultural Technology
Arctic State Agrotechnological University
3, *Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russian Federation*
grig_mf@mail.ru

Akulina V. Popova, Associate Professor of the Department of General Zootechnics, Faculty of Agricultural Technology
Arctic State Agrotechnological University
3, Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russian Federation
grig_mf@mail.ru

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Григорьев Михаил Федосеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей зоотехнии
ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»
ш. Сергеляхское 3 км, 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007, Российская Федерация
grig_mf@mail.ru

Григорьева Александра Ивановна, старший преподаватель кафедры высшей математики
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»
ул. Кулаковского, 48, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677013, Российская Федерация
shadrina_ai@mail.ru

Сидоров Андрей Андреевич, старший преподаватель кафедры пищевых технологий и индустрии питания
ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»
ш. Сергеляхское 3 км, 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007, Российская Федерация
grig_mf@mail.ru

Попова Акулина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей зоотехнии
ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»
ш. Сергеляхское 3 км, 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007, Российская Федерация
grig_mf@mail.ru

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-103-118

УДК 632.08+004.8

КЛАССИФИКАЦИЯ ВНЕКОРНЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЯБЛОНЕВЫХ КУЛЬТУР МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

С.Н. Терещенко, А.А. Перов, А.Л. Осипов

Цель. Разработка модели сверточной нейронной сети для определения внекорневых заболеваний яблонь по фотографиям листьев с мобильного телефона.

Методы и материалы исследования. Материалом для исследований послужили размеченные изображения с различными видами внекорневых заболеваний яблони, опубликованные в открытом доступе платформы Kaggle. Методы исследования: теория проектирования и разработки информационных систем, программирования, методы аугментации и расширения датасетов для задач компьютерного зрения, методы настройки гиперпараметров обучения моделей нейронной сети.

Результаты. Яблоня (*Malus*) – многолетняя древесная культура рода *Malus*. Яблоки – основная плодовая культура России. Яблоня как плодовая культура распространена почти во всех странах умеренного климата, а в России она выращивается повсеместно – от северных регионов до юга [3]. Заболевания яблонь является одной из главных причин снижения урожайности садов по всему миру. Для профилактики и раннего предупреждения распространения заболеваний яблонь необходим инструмент в виде модели нейронной сети, позволяющей определить наличия заболевания по фотографии со смартфона листьев яблони. В работе использовались методы глубокого обучения сверточных нейронных сетей, а также концепция «transfer learning». На базе сети EfficientNet была обучена нейронная сеть, позволяющая с точностью 0,9842 по метрике F1-score определять наличие некорневых заболеваний яблони по изображению листьев.

Заключение. Был подготовлен набор данных изображений листьев яблонь, включающий четыре класса, для эффективной классификации нейронной сетью. Два класса с признаками определенного заболевания яблони, один класс для наличия более одного заболевания и один класс для здоровых яблонь. Построена и обучена модель для решения задачи классификации по обнаружению болезни яблонь по изображениям листьев со смартфона.

Ключевые слова: нейронные сети; искусственный интеллект; яблоня; листья; заболевание растений; смартфон; глубинное обучение; аугментация

Для цитирования. Терещенко С.Н., Перов А.А., Осипов А.Л. Классификация внекорневых заболеваний яблоневых культур методами компьютерного зрения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 103-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-103-118

APPLE CROPS FOLIAR DISEASES CLASSIFICATION BY COMPUTER VISION METHODS

S.N. Tereshchenko, A.A. Perov, A.L. Osipov

Background. Development of a convolutional neural network model for detecting foliar diseases of apple trees from a photo of leaves from a mobile phone.

Materials and methods. The material for the research was taken images with various types of apple's foliar diseases, published in open access of the Kaggle platform. Research methods: theory of design and development of information systems, programming, methods of augmentation and extension of datasets for computer vision problems, methods of tuning hyperparameters for training neural network models.

Results. Apple (*Malus*) is a perennial tree of the genus *Malus*. Apples are the main fruit crop in Russia. The apple tree as a fruit crop is widespread in almost all temperate countries, in Russia it is grown everywhere – from the northern regions to the south [3]. Diseases of apple trees are one of the main reasons for the decline in the yield of orchards around the world. For the prevention and early warning of the spread of apple tree diseases, a tool is needed in the form of a neural network model that allows you to determine the presence of the disease from a smartphone photo of apple leaves. The methods of deep learning of convolutional neural networks, as well as the concept of “transfer learning”, were used in the work. A neural network was trained on the basis of the EfficientNet network, which allows to determine the presence of non-root diseases of apple trees by the image of leaves with an accuracy of 0.985 using the F1-score metric.

Conclusion. The data set of apple's leaves images, including four classes, was prepared for efficient classification by a neural network. Two classes with signs of a certain apple tree disease, one class for having more than one disease, and one class for healthy apple trees. A model was built and trained for classification task of detecting apple tree disease from images of leaves from a smartphone.

Keywords: neural networks; artificial intelligence; apple tree; leaves; plant disease; smartphone; deep learning; augmentation

***For citation.** Tereshchenko S.N., Perov A.A., Osipov A.L. Apple Crops Foliar Diseases Classification by Computer Vision Methods. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 103-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-103-118*

Введение

Болезни растений оказывают неблагоприятное воздействие на сельскохозяйственное производство, что негативным образом влияет на продовольственную безопасность. Неправильная диагностика заболеваний для сельскохозяйственной культуры зачастую приводит к ошибочному использованию удобрений, что приводит к появлению устойчивых штаммов патогенов, а также к увеличению затрат на новые обработки и увеличению числа вспышек со значительными экономическими потерями и воздействием на окружающую среду [23]. Существует большое количество заболеваний, которые влияют на урожайность растений, что ведет к экономическим и экологическим потерям [1]. Поэтому диагностика заболеваний растений, дающая точный и своевременный результат, имеет первостепенное значение и является важной темой научных исследований в области информатизации сельского хозяйства.

Технологии искусственного интеллекта активно развиваются и широко применяются во многих отраслях химии, биологии, экономики и сельском хозяйстве [14, 22, 24]. Компьютерное зрение, как одна из составляющих элементов искусственного интеллекта, уже доказало свою эффективность в таких широко распространенных направлениях как распознавание лиц, автомобильных номеров и в задачах стегаанализа графических изображений. В данной статье рассмотрим использование технологий компьютерного зрения для определения заболеваний яблоневых культур.

Яблоня, выращиваемая в саду, может заболеть такими болезнями, как: пролиферация яблонь (ведьмина метла), горькая и плодовая гнили, млечный блеск, мозаичная болезнь, мозаичная кольчатость, мухосед, мучнистая роса, настоящий тутовник, обыкновенный рак, черный рак, отмирание ветвей, парша, подкожная вирусная пятнистость, ржавчина, сплюсненность веток, стекловидность плодов, цитоспороз, черная пятнистость. У каждого из этих заболеваний имеются свои характерные признаки. Например, какая-то из них может привести к разрушению древесины и коры, из-за чего яблоня начнет засыхать, а другая повреждает листовые пластины, что приводит к их пожелтению и облетанию и т. д. Отдельные заболевания приводят к тому, что у растения могут облететь все недозревшие плоды [2].

Разработка модели нейронной сети для смартфона, позволяющая распознавать наличие заболевания яблони по фотографиям листьев, представляется важной задачей для прикладных исследований в сельскохозяйственной отрасли.

Методы и материалы исследования

В данной работе исходным материалом для проведения научных исследований послужили размеченные изображения с различными видами заболеваний листьев яблони, которые опубликованы в открытом доступе на платформе Kaggle (kaggle.com). Методы исследования: теория проектирования и разработки информационных систем; программирования; аугментации и расширения датасетов для задач компьютерного зрения; алгоритмы настройки гиперпараметров обучения моделей нейронной сети.

Анализ существующих исследований

В последние годы компьютерное зрение и машинное обучение показали большой потенциал для ускорения диагностики болезней растений [10, 11, 12]. Разрабатываются методы компьютерного зрения, позволяющие использовать цифровые изображения симптомов, для классификации различных заболеваний сельскохозяйственных культур [4, 13]. Методы машинного обучения содержат традиционные алгоритмы компьютерного зрения: метод опорных векторов (англ. SVM); метод К-ближайших соседей (англ. KNN); алгоритм К-средних (англ. k-means) и другие. Модели диагностики заболеваний растений на основе глубинного обучения включают в себя использование различных технологий сверточных нейронных сетей (AlexNet, GoogleNet, VGGNet, ResNet). Во многих работах размер датасета был недостаточен, а многоклассовая классификация требовала трудоемкой настройки гиперпараметров для предотвращения переобучения [17]. В работе [15] применяются методы сегментации изображений, включающие алгоритмы К-средних, для обнаружения пораженных сегментов растений. В статье [6] определяются зеленые пиксели для маски на основе пороговых значений, которые вычисляются с помощью метода Otsu. В работе [18] была использована методика «transfer learning» на основе предобученной сети ResNet 50 с настройкой гиперпараметров. В работе [22] проанализированы различные методы сегментации, кластеризации и классификации с помощью применения пороговых значений изображений, метода К-средних и сверточных нейронных сетей. В работе [5] авторы используют предварительно обученную сверточную нейронную сеть с настройкой гиперпараметров. В работе [14] анализируется формирование датасета с изображениями заболеваний маниока для конкурса Kaggle

«iCassava 2019». В работе [1] используется матрица смежности GLCM и обработка результатов посредством бинаризации и мажоритарного голосования для определения заболеваний по фотографиям с беспилотного летательного аппарата. Работа [19] посвящена разработке модели распознавания болезней растений, основанной на классификации изображений листьев, с использованием глубоких сверточных сетей. Модель обучена распознавать 13 различных типов заболеваний растений по фотографии листьев.

В работе [12] предлагается подход к идентификации болезней листьев яблони, основанный на глубоких сверточных нейронных сетях, который включает в себя генерацию достаточного количества изображений с патологиями и разработку новой архитектуры глубокой сверточной нейронной сети на основе AlexNet. В рамках тестового набора hold-out экспериментальные результаты показывают, что предложенный подход идентификации заболеваний на основе сверточной нейронной сети достигает общей точности 97,62%.

Наличие смартфонов практически у каждого человека и достижения в области глубокого машинного обучения открывают новые перспективы в классификации болезней растений. Например, мобильное приложение Plantix (plantix.net) позволяет пользователям по изображениям листьев выявлять патологию. Приложение разработано компанией PEAT, немецким стартапом AgTech. Приложение может обнаруживать более 400 различных заболеваний для 30 видов популярных культур.

В работе [8] на основе собственного датасета с заболеваниями растений проводились эксперименты с сямской нейронной сетью. Точность в 90% была достигнута при обнаружении черной гнили и хлороза на виноградных листьях.

Данная работа использует современные технологии для классификации внекорневых заболеваний яблони при помощи компьютерного зрения и опирается на описанные выше методы и подходы.

Результаты исследования

Открытый датасет представляет собой более 3600 изображений [16]. Изображения размечены на 4 класса. Два класса под заболевания (парша, кедровая ржавчина), третий класс, включающий более одного заболевания, и четвертый класс для здоровых яблонь. Изображения различных размеров представлены в формате «jpg». К датасету прилагается файл в формате «csv» с разметкой фотографий. Для обучения использовался фреймворк PyTorch. В работе решается задача классификации заболеваний яблонь на четыре класса. Пример изображений датасета представлен на рисунке 1.

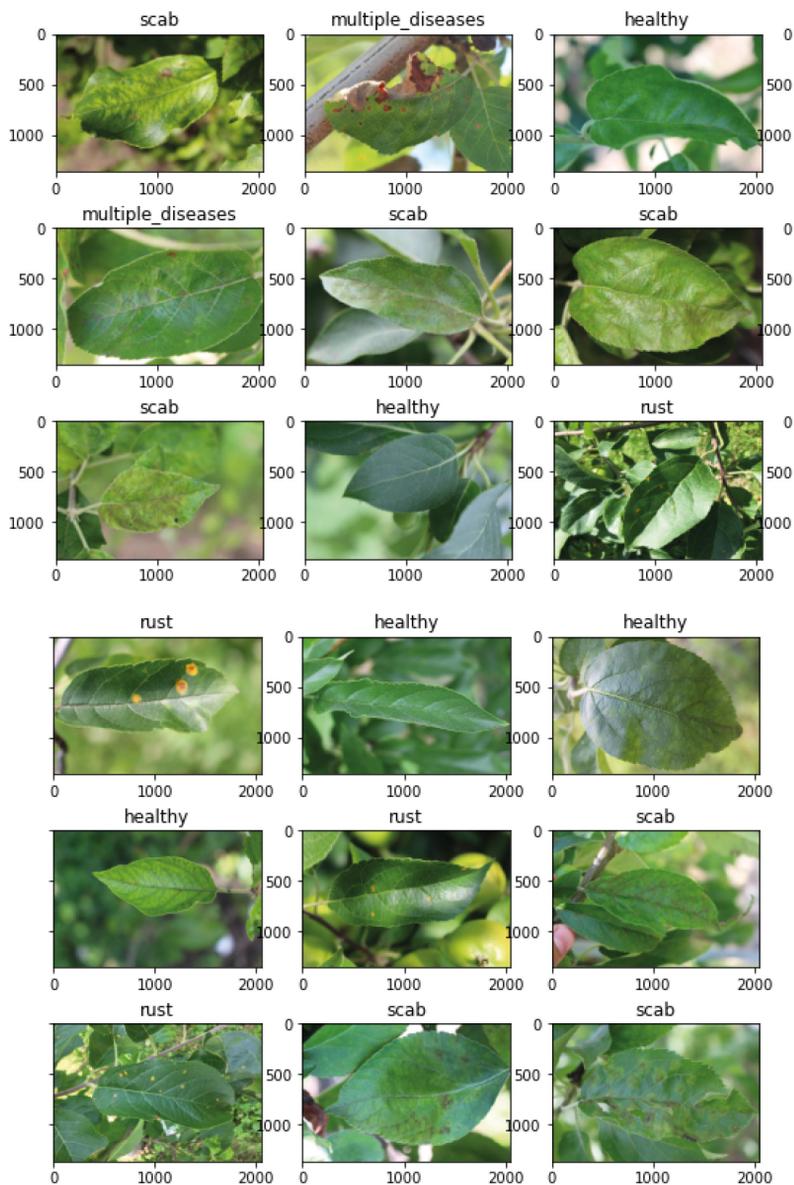


Рис. 1. Размеченные изображения из датасета

Для задачи классификации в работе была использована концепция «transfer learning». Если современные нейронные сети используют анализ простейших графических примитивов на нижних слоях, то концепция «transfer learning» зарекомендовала себя уже на многих более сложных задачах [9, 21]. Предобученная на большом количестве изображений нейронная сеть дает преимущество в стоимости и скорости обучения. Модель начинает процесс обучения не с нуля, а с заданных паттернов, которые были получены при решении другой задачи, которая сходна по своей природе с решаемой. Предварительно обученная модель обучается на большом эталонном наборе данных для решения задачи, аналогичной классификации внекорневых заболеваний яблони. Была выбрана предобученная модель EfficientNet-B7.

Ключевой особенностью сверточной нейронной сети семейства EfficientNet является то, что она использует масштабирование и балансирование между собой глубины и ширины, а также разрешение изображений сети. Эксперименты по увеличению масштаба по каждому из измерений показывают следующие результаты.

Увеличение ширины повышает количество каналов в изображении, что позволяет определить более детализированные признаки. При увеличении ширины растет и сложность изучения комплексных признаков, что увеличивает время обучения.

Увеличение глубины (количества слоев сети) позволяет выявлять более сложные признаки. Однако значительно затрудняется обучение сети и имеется ограничение на прирост эффективности (например, сеть ResNet-100 имеет такую же точность, как ResNet-1000).

Увеличение разрешения (изображения) позволяет находить более мелкие структуры за счет дополнительных деталей изображения, но при этом увеличиваются ресурсы на обучение и имеется ограничение на прирост эффективности [7].

В то же время, балансирование масштабированием по каждому из измерений (ширина, глубина и разрешение) приводит к приросту точности при незначительном росте ресурсов на обучение. На рисунке 2 показаны последовательно сети [20]:

1. Базовая модель, с заданным количеством слоев (англ. layer), каналов (англ. channels).
2. Расширение количества каналов (ширины, англ. wider).
3. Увеличение глубины модели (англ. deeper).
4. Повышения разрешения изображения (англ. higher resolution).

5. Одновременным расширением масштаба по ширине, глубине и разрешению.

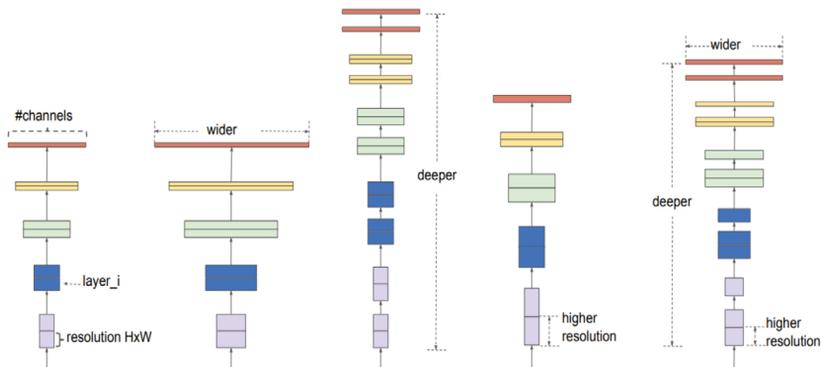


Рис. 2. Масштабирование нейронной сети

Семейство EfficientNet имеет классы с постепенным увеличением коэффициентов усложнения сети, начиная с базовой EfficientNet-B0. В статье применялась предобученная на базе ImageNet сеть EfficientNet-B7.

Для увеличения общего количества датасета была использована технология аугментации изображений. Изображения для обучения были изменены до размеров 560×560 пикселей, а затем из этого изображения случайно выбирался квадрат размером 512×512 пикселей. Была применена технология зеркалирования по вертикальной центральной оси и поворот изображения до 15 градусов в обе стороны. Использован прием “вырезки” небольших блоков из изображения. Затем использовалась техника изменения яркости и добавления отблесков на изображениях. Методы аугментации данных часто используются вместе с традиционными алгоритмами машинного обучения или алгоритмами глубокого обучения для повышения точности классификации. Для аугментации данных использовалась библиотека Albumentations. Пример применения к изображению методов аугментации показан на рисунке 3.

В работе использовался метод стохастического градиентного спуска (SGD). В качестве настройки гиперпараметра шага обучения было подобрано опытным путем значение « $\text{lr}=0.003$ ». В качестве функции потерь была выбрана перекрестная энтропия (CrossEntropyLoss) с мультиклассовой функцией оценки логарифмических потерь. В качестве алгоритма оптимизации был использован Адам.

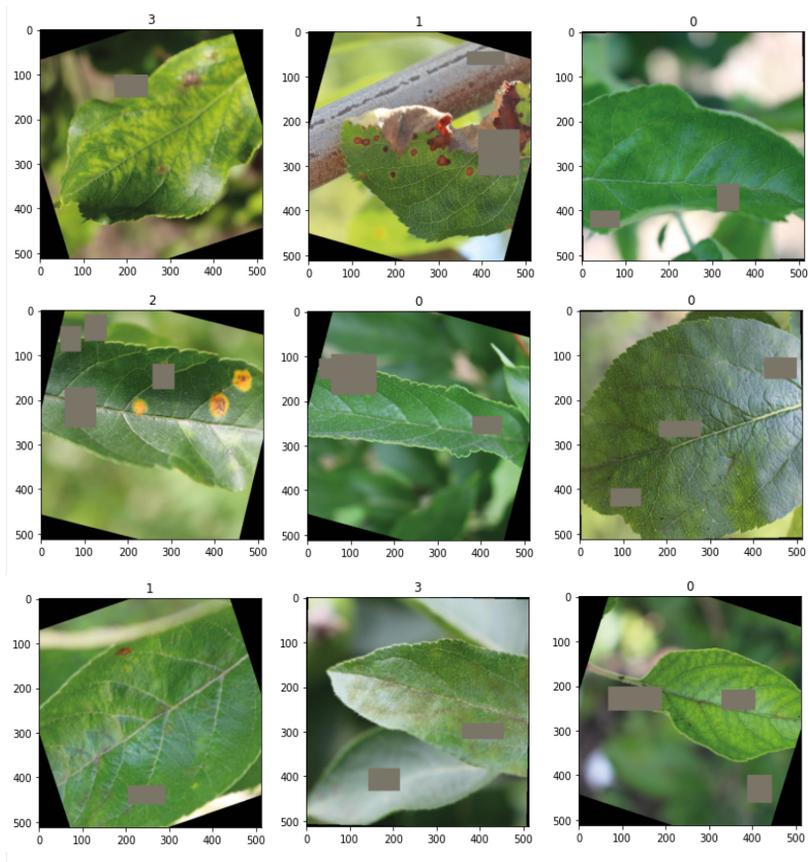


Рис. 3. Аугментация изображения листьев яблони

Датасет был разделен на три выборки: обучающая (состоит из 70% изображений); проверочная (состоит из 15% изображений); тестовая (состоит из 15% изображений). Использовалась предварительно обученная модель EfficientNet-B7, которая включала механизм переобучения последних слоев.

Результаты научных исследований показали, что точность классификации на тестовой выборке по метрике F1-score оказалась равной 0,9842, на проверочной оказалась равной 0,9896, а на обучающей выборке оказалась равной 0,9938.

Обсуждение

Для предотвращения экономического ущерба из-за падения урожайности нужно знать точный диагноз заболеваний яблоневых культур. Ранняя профилактика заболеваний яблони по фотографиям листьев крайне важна для предотвращения проблем, связанных с решением продовольственной программы.

Интеллектуальная система компьютерного зрения, предназначенная для выявления внекорневых заболеваний яблони по визуальным симптомам, могла бы оказать большую помощь в решении продовольственной программы. Учитывая широкое распространение у садоводов смартфонов с возможностью выхода в интернет и наличием фотокамеры, подобная система может повсеместно применяться на садовых посадках по всему миру. Это не только приведет к улучшению качества и скорости постановки диагноза заболевания, поскольку хорошо обученные глубинные нейронные сети могут выполнять эти избыточные задачи не хуже людей, но и к повышению производительности садовых хозяйств. Данная работа основана на проблеме машинной классификации внекорневых заболеваний яблони с использованием методов компьютерного зрения. Разработанная модель рекомендуется для практического применения в садовых хозяйствах, которые выращивают яблоневые культуры.

Заключение

Заболевания представляют собой серьезную угрозу для урожайности яблоневых культур. В работе демонстрируется техническая осуществимость глубокого обучения с использованием сверточного нейросетевого подхода для автоматической диагностики внекорневых заболеваний с помощью классификации изображений. Используя общедоступный набор данных из более 3600 изображений больных и здоровых листьев яблони, глубокая сверточная нейронная сеть обучается классифицировать наличие заболеваний по двум отдельным видам и одному с наличием множественных заболеваний, достигая точности распознавания более 98,4%. В статье был исследован подход применения методов глубокого обучения для автоматической классификации и обнаружения внекорневых заболеваний яблони по изображениям листьев. Модель позволила проводить классификацию внекорневых заболеваний яблоневых культур методами компьютерного зрения. Была описана методика подготовки изображений для обучения и валидации, аугментация, процедура обучения сверточной нейронной сетью и настройкой гиперпараметров обучения.

Информация о конфликте интересов. Отсутствие конфликта интересов.
Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Тутьгин В.С., Лелюхин Д.О. Система диагностики заболеваний листьев растений по фотоизображениям, полученным с помощью БПЛА // Материалы научной конференции «Неделя науки СПбПУ». Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018.
2. Яблоки, АГРАРИЙ. <https://agrarii.com/jablonja/> (дата обращения: 20.03.2021).
3. Яблоки, АгроWIKI. <https://agrostrana.ru/wiki/305> (дата обращения: 20.03.2021).
4. Amara J., Bouaziz B., Algergawy A. A Deep Learning-based Approach for Banana Leaf Diseases Classification // Conference Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web. January 2017. http://btw2017.informatik.uni-stuttgart.de/slidesandpapers/E1-10/paper_web.pdf (дата обращения: 20.03.2021).
5. Reyes A.K., Caicedo J.C., Camargo J.E. Fine-tuning Deep Convolutional Networks for Plant Recognition // Conference and Labs of the Evaluation Forum - CLEF 2015. <http://ceur-ws.org/Vol-1391/121-CR.pdf>
6. Fast and Accurate Detection and Classification of Plant Diseases / Al-Hiary H., Bani-Ah Mad S., Reyalat M., Braik M., ALRahamneh Z. // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). March 2011. Vol. 17, No. 1. P. 31-38. <https://doi.org/10.5120/2183-2754>
7. Ginsburg I. Исследуем архитектуры сверточных нейронных сетей с помощью fast.ai. <https://proglib.io/p/issleduem-arhitektury-svertochnyh-neyronnyh-setey-s-pomoshchyu-fast-ai-2020-12-28> (дата обращения: 20.03.2021).
8. Goncharov P., Nechaevskiy A., Ososkov G., Uzhinskiy A. Disease Detection on the Plant Leaves by Deep Learning // Papers from the XX International Conference on Neuroinformatics. October 8-12, 2018, Moscow, Russia. In book: Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research II. pp.151-159. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01328-8_16
9. Identification and Recognition of Rice Diseases and Pests Using Convolutional Neural Networks / Rahman C. R., Arko P. S., Ali M. E., Khan M. A. I., Apon S. H., Nowrin F., Wasif A. // Biosystems Engineering. June 2020. Vol. 194. P. 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.020>
10. Khirade S.D., Patil A.B. Plant Disease Detection Using Image Processing // 2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation. 2015. P. 768-771. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2015.153>

11. Lee D., Back C. et al. Biological Characterization of *Marssonina coronaria* Associated with Apple Blotch Disease // *Mycobiology*. 2011. Vol. 39. No 3. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2011.39.3.200>
12. Liu B., Zhang Y., He D., Li Y.: Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks // *Symmetry*. 2017. Vol. 10, No 1, 11. <https://doi.org/10.3390/sym10010011>
13. Mahlein A. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping // *Computational Intelligence and Neuroscience*, June 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
14. Mwebaze E., Gebru T., Frome A., Nsumba S., Tusubira J. iCassava 2019 Fine-Grained Visual Categorization Challenge. <https://arxiv.org/abs/1908.02900> (accessed 20.03.2021).
15. Phadikar S., Sil J. Rice Disease Identification Using Pattern Recognition Techniques // 2008 11th International Conference on Computer and Information Technology. J24-27, Dec. 2008. <https://doi.org/10.1109/ICCITECHN.2008.4803079>
16. Plant Pathology 2020 - FGVC7, Kaggle. <https://www.kaggle.com/c/plant-pathology-2020-fgvc7/overview> (accessed 20.03.2021).
17. Revathi P., Hemalatha M. Classification of Cotton Leaf Spot Diseases Using Image Processing Edge Detection Techniques // *International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology (INCOSET)*. 13-14 Dec. 2012. <https://doi.org/10.1109/INCOSET.2012.6513900>
18. Sagar A., J Dheeba J. On Using Transfer Learning For Plant Disease Detection. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.05.22.110957v1.full> (accessed 20.03.2021).
19. Sladojevic S., Arsenovic M., Anderla A., Culibrk D. Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification // *Computational Intelligence and Neuroscience*, June 2016. P. 1-11. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
20. Tan M., Le Q. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. <https://arxiv.org/pdf/1905.11946.pdf> (accessed 20.03.2021).
21. Tea leaf diseases recognition using neural network ensemble / Karmokar B. C, Ullah M. S., Siddiquee Md. K., Alam K. Md. R. // *International Journal of Computer Applications*. March 2015. Vol. 114, No. 17. P. 27-30. <http://dx.doi.org/10.5120/20071-1993>
22. Tete T. N., Kamlu S. Plant Disease Detection Using Different Algorithms // *Proceedings of the Second International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering*. June 2017. Vol. 10. P. 103–106. <https://doi.org/10.15439/2017R24>

23. Thapa R., Snavely N., Belongie S., Khan A. The Plant Pathology 2020 challenge dataset to classify foliar disease of apples. <https://arxiv.org/pdf/2004.11958.pdf> (accessed 20.03.2021).
24. Osipov A.L., Bobrov L.K. The use of statistical models of recognition in the virtual screening of chemical compounds // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2012. Vol. 46, No. 4. P. 153-158. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0005105512040024>

References

1. Tutygin V.S., Lelyukhin D.O. Sistema diagnostiki zabolevaniy list'ev rasteniy po fotoizobrazheniyam, poluchennym s pomoshch'yu BPLA [A system for diagnosing plant leaf diseases based on photographs obtained with the help of BPLA]. *Materialy nauchnoy konferentsii «Nedelya nauki SPbPU»*. Sankt-Peterburg, 19–24 noyabrya 2018 [Materials of the scientific conference “Science Week of SPbPU”. St. Petersburg, 19-24 November 2018].
2. Apples, *AGRARIJ*. <https://agrarii.com/jablonja/> (accessed 20.03.2021).
3. Apples, *AgroWIKI*. <https://agrostrana.ru/wiki/305> (accessed 20.03.2021).
4. Amara J., Bouaziz B., Algergawy A. A Deep Learning-based Approach for Banana Leaf Diseases Classification. *Conference Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web. January 2017*. http://btw2017.informatik.uni-stuttgart.de/slidesandpapers/E1-10/paper_web.pdf (дата обращения: 20.03.2021).
5. Reyes A.K., Caicedo J.C., Camargo J.E. Fine-tuning Deep Convolutional Networks for Plant Recognition. *Conference and Labs of the Evaluation Forum - CLEF 2015*. <http://ceur-ws.org/Vol-1391/121-CR.pdf>
6. Al-Hiary H., Bani-Ah Mad S., Reyalat M., Braik M., ALRahamneh Z. Fast and Accurate Detection and Classification of Plant Diseases. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, March 2011, vol. 17, no. 1, pp. 31-38. <https://doi.org/10.5120/2183-2754>
7. Ginsburg I. Exploring convolutional neural network architectures with fast.ai. <https://proglib.io/p/issleduem-arhitektury-svertochnyh-neyronnyh-setey-s-pomoshchyu-fast-ai-2020-12-28> (accessed 20.03.2021).
8. Goncharov P., Nechaevskiy A., Ososkov G., Uzhinskiy A. Disease Detection on the Plant Leaves by Deep Learning. *Papers from the XX International Conference on Neuroinformatics. October 8-12, 2018, Moscow, Russia. Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research II*. pp.151-159. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01328-8_16
9. Rahman C. R., Arko P. S., Ali M. E., Khan M. A. I., Apon S. H., Nowrin F., Wasif A. Identification and Recognition of Rice Diseases and Pests Using Con-

- volutional Neural Networks. *Biosystems Engineering*, June 2020, vol. 194, pp. 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.020>
10. Khirade S.D., Patil A.B. Plant Disease Detection Using Image Processing. *2015 International Conference on Computing Communication Control and Automation*. 2015, pp. 768-771. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2015.153>
 11. Lee D., Back C. et al. Biological Characterization of Marssonina coronaria Associated with Apple Blotch Disease. *Mycobiology*, 2011, vol. 39, no. 3. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2011.39.3.200>
 12. Liu B., Zhang Y., He D., Li Y.: Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks. *Symmetry*, 2017. vol. 10, no. 1, 11. <https://doi.org/10.3390/sym10010011>
 13. Mahlein A. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. *Computational Intelligence and Neuroscience, June 2016*. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
 14. Mwebaze E., Gebru T., Frome A., Nsumba S., Tusubira J. iCassava 2019 Fine-Grained Visual Categorization Challenge. <https://arxiv.org/abs/1908.02900> (accessed 20.03.2021).
 15. Phadikar S., Sil J. Rice Disease Identification Using Pattern Recognition Techniques. *2008 11th International Conference on Computer and Information Technology*. J24-27, Dec. 2008. <https://doi.org/10.1109/ICCITECHN.2008.4803079>
 16. Plant Pathology 2020 - FGVC7, Kaggle. <https://www.kaggle.com/c/plant-pathology-2020-fgvc7/overview> (accessed 20.03.2021).
 17. Revathi P., Hemalatha M. Classification of Cotton Leaf Spot Diseases Using Image Processing Edge Detection Techniques. *International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology (INCOSET)*. 13-14 Dec. 2012. <https://doi.org/10.1109/INCOSET.2012.6513900>
 18. Sagar A., J Dheeba J. On Using Transfer Learning For Plant Disease Detection. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.05.22.110957v1.full> (accessed 20.03.2021).
 19. Sladojevic S., Arsenovic M., Anderla A., Culibrk D. Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification. *Computational Intelligence and Neuroscience*, June 2016. P. 1-11. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
 20. Tan M., Le Q. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. <https://arxiv.org/pdf/1905.11946.pdf> (accessed 20.03.2021).
 21. Karmokar B. C, Ullah M. S., Siddiquee Md. K., Alam K. Md. R. Tea leaf diseases recognition using neural network ensemble. *International Journal of Computer Applications*, March 2015, vol. 114, no. 17, pp. 27-30. <http://dx.doi.org/10.5120/20071-1993>

22. Tete T. N., Kamlu S. Plant Disease Detection Using Different Algorithms. *Proceedings of the Second International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering*, June 2017, vol. 10, pp. 103–106. <https://doi.org/10.15439/2017R24>
23. Thapa R., Snavely N., Belongie S., Khan A. The Plant Pathology 2020 challenge dataset to classify foliar disease of apples. <https://arxiv.org/pdf/2004.11958.pdf> (accessed 20.03.2021).
24. Osipov A.L., Bobrov L.K. The use of statistical models of recognition in the virtual screening of chemical compounds. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2012, vol. 46, no. 4, pp. 153–158. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0005105512040024>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Терешенко Сергей Николаевич, заведующий кафедрой «Прикладная информатика», доцент, кандидат технических наук
ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики и управления
ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
sg12@ngs.ru

Перов Артём Андреевич, ассистент кафедры «Информационная безопасность»
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
ул. Б. Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Российская Федерация
perov_artem@inbox.ru

Осипов Александр Леонидович, доцент, кандидат технических наук
ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики и управления
ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
alosp@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergei N. Tereshchenko, Department Chair «Applied Informatics», Associate Professor, Candidate of Engineering Science
Novosibirsk State University of Economics and Management

56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

e-mail: sg12@ngs.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2309-8445>

SPIN-code: 2036-7632

Artem A. Perov, Assistant Professor of the Department «Information Security»

Moscow Polytechnic University

38, Bolshaya Semyonovskaya Str., Moscow, 107023, Russian Federation

perov_artem@inbox.ru

ORCID: 0000-0003-3401-7751

SPIN-code: 8592-6975

Alexander L. Osipov, Associate Professor, Candidate of Engineering Science

Novosibirsk State University of Economics and Management

56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

alosip@mail.ru

ORCID: 0000-0002-1809-9147

SPIN-code: 5697-8004

Scopus Author ID: 7202978114

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-119-138

УДК 333С7:631.617

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

Д.К. Сучков

Статья посвящена актуализации проблемы развития и повышения экономической эффективности работ по защитному лесоразведению.

Цель исследования – разработать предложения к технологии повышения эффективности защитного лесоразведения в засушливых районах России.

Материалы и методы. Для описания видового состава, их состояния и экономической эффективности, использовались методы оценки и прогнозирования состояния насаждений по Е.Г. Мозолева и методы лесной таксации О.И. Бабошко. Основой для расчета затрат на 1 га ветроломных и стокорегулирующих лесных полос служили действующие расчетно-технологические карты на работы по защитному лесоразведению. Для перехода в современные цены использовали индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ.

Результаты. В работе приводятся оптимальные биоинженерные параметры систем ветроломных и стокорегулирующих лесных полос применительно к разным природным зонам Юга России, уровню эрозионной опасности и состоянию почвенного покрова склоновых земель, размеры и биогеографические закономерности динамики затрат на их создание. Представлен ассортимент деревьев и кустарников, используемых для защитного лесоразведения в засушливых регионах на основе анализа гидрофизических и гидрохимических свойств древесных пород позволяющий повысить биологическую устойчивость насаждений, увеличить срок их жизни, а значит и более полно выполнять свои защитные функции.

Заключение. Установлено, что в дефляционно-опасных районах капиталоёмкость обустройства пашни системой ветроломных лесных полос находится в строгой зависимости от качества почвенно-климатических условий (природной зоны), выбранного уровня защитной лесистости и биоинженерных особенностей насаждений. В эрозионно-опасных районах капиталовложения в создание систем стокорегулирующих лесных полос на пашне обусловлены главным образом уклоном местности и степенью смытости почв.

Использование приведенных расчетов и закономерностей позволит повысить экономическую обоснованность капитальных вложений при планировании и проектировании лесомелиоративных мероприятий на пахотных землях проблемных регионов юга России.

Ключевые слова: *аридная зона; устойчивое развитие; защитные лесные насаждения; экономическая эффективность; ветроломные и стокорегулирующие лесные полосы*

Для цитирования. *Сучков Д.К. Эколого-экономическая эффективность защитного лесоразведения в аридной зоне // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 119-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-119-138*

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE ARID ZONED

D.K. Suchkov

The article is devoted to the actualization of the problem of development and increasing the economic efficiency of protective afforestation.

Purpose. *Develop proposals for technology to improve the effectiveness of protective afforestation in the arid regions of Russia.*

Materials and methods. *To describe the species composition, their condition and economic efficiency, we used methods for assessing and predicting the state of plantings according to E. G. Mozolevskaya and methods of forest taxation by O. I. Baboshko. The basis for calculating the costs per 1 ha of windbreak and flow-regulating forest strips was the current calculation and technological maps for protective afforestation. To switch to modern prices, we used the indices of changes in the estimated cost of construction and installation works.*

Results. *The paper presents the optimal bioengineering parameters of windbreak and flow-regulating forest strips systems in relation to different natural zones of the South of Russia, the level of erosion hazard and the state of the soil cover of slope lands, the size and biogeographic patterns of the cost dynamics for their creation. The range of trees and shrubs used for protective afforestation in arid regions is presented based on the analysis of the hydrophysical and hydrochemical properties of tree species, which allows to increase the biological stability of plantings, increase their life span, and therefore more fully perform their protective functions.*

Conclusion. *It is established that in deflation-hazardous areas, the capital intensity of arable land management by the system of windbreak forest strips is strictly depen-*

dent on the quality of soil and climatic conditions (natural zone), the selected level of protective forest cover and bioengineering features of plantings. In erosion-hazardous areas, investments in the creation of systems of flow-regulating forest strips on arable land are mainly due to the slope of the terrain and the degree of soil washout.

The use of the above calculations and regularities will increase the economic feasibility of capital investments in the planning and design of forest reclamation activities on arable land in the problem regions of the south of Russia.

Keywords: *arid zone; sustainable development; protective forest stands; economic efficiency; windbreak and flow-regulating forest strips*

For citation. *Suchkov D.K. Environmental and Economic Efficiency Protective Afforestation in the Arid Zoned. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 119-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-119-138*

Введение

Стабильное развитие сельского хозяйства имеет приоритетное значение в развитии каждого государства, поскольку оно обеспечивает население продуктами питания, а промышленность сырьем. Длительное экстенсивное развитие аграрной отрасли, стремление достичь высоких показателей в сельскохозяйственном производстве с недостаточным учетом принципов охраны окружающей среды, сохранения природно-ресурсного потенциала, устойчивости агроэкосистем, агроландшафтов, внедрение технологий с широкозахватными комплексами машин, все это привело к чрезмерной распашке территории, значительной трансформации природных ландшафтов, увеличение антропогенного давления на агросферу, росту количества экологических угроз и масштабов негативного влияния на смежные территории [3,14].

Для улучшения условий окружающей среды аридной зоны, снижение опасности развития неблагоприятных природных и антропогенно-природных явлений, охраны и рационального использования малопродуктивных и деградированных земель, первоочередной задачей в засушливых территориях является создание устойчивых и долговечных защитных лесных насаждений, повышение лесистости территории с установленными нормами. Однако до сих пор эти вопросы изучены недостаточно [9,27]. Требуется научное обоснование весь комплекс лесокультурных работ от мелиоративных мероприятий к обоснованию породного состава защитных лесных насаждений и схемы их смешения в аридной зоне. Поэтому задача по оптимизации системы защитных лесных насаждений и формированию агроландшафтов по ландшафтно-экологическому принципу в засушливых регионах является актуальной.

Основными формами деградации сельскохозяйственных угодий являются ветровая (дефляция) и водная эрозия, заболачивание, засоление, подтопление, зарастание полей кустарником, мелколесьем и другие процессы, ведущие к потере продуктивности земель и выводу их из хозяйственного оборота [6,7]. Ветровая и водная эрозия пашни в нашей стране остается одной из главных причин потери плодородия почвы, ухудшения окружающей среды.

Однако при планировании и проектировании лесомелиоративных мероприятий на пахотных землях слабым звеном остается экономическое обоснование затрат на их осуществление

Понимание необходимости повышения экологической и продовольственной безопасности страны привело к формированию новых представлений о значении, эффективности и принципах осуществления защитного лесоразведения [1,18].

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны защитные лесные насаждения Южного федерального округа (ЮФО). Для описания видового состава, их состояния и экономической эффективности, использовались методы оценки и прогнозирования состояния насаждений по Е.Г. Мозолевской и др. [11,13] и методы лесной таксации О.И. Бабошко [1,9]. Исследования выполнялись в соответствии с методиками, общепринятыми в защитном лесоразведении и лесной таксации. Закономерности влияния лесных полос на агроэкологическую обстановку полей изучали на пробных площадях и по литературным данным.

Основой для расчета затрат на 1 га ветроломных и стокорегулирующих лесных полос служили действующие расчетно-технологические карты на работы по защитному лесоразведению [6,15]. Для перехода в современные цены использовали индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ. Расчет затрат на обустройство земель произведен на 1 га агролесоландшафта с помощью моделирования реальных условий земледельческих районов, расположенных на юге европейской территории России, где периодически проявляются ветровая и водная эрозии почвы.

Результаты исследования

Для Южного федерального округа характерна не только широтная, но и высотная сменяемость основных типов экосистем. В широтном направ-

лении основными зонами являются степи – на севере, полупустыни, пустыни и субтропики – на юге [22,25].

Леса в основном сосредоточены на склонах гор – оптимальная лесистость для степи на равнинах и склонах показана в таблице 1. Площадь земель лесного фонда по Южному федеральному округу составляет 5534 тыс. га, что составляет 10,7% его территории [24].

Таблица 1.

Оптимальная защитная лесистость для степи на равнинах и склонах

Зона, почвы	Оптимальная защитная лесистость, %	
	По данным В.И. Коптева	По данным О.И. Пилипенка, В.Ю. Юхновского
Почвы – глинистые и суглинистые		
Черноземы обыкновенные	3,1	3,8
Черноземы южные	4,0	4,1
Темно-каштановые	4,9	4,8
Каштаново-солонцеватые	6,2	6,2
Почвы – песчаные и супесчаные		
Супесчаные	6,8	7,1
Песчаные	9,8	11,8

Целевой установкой для оптимизации породного состава защитных лесных насаждений является максимальное использование биологического потенциала древостоя в соответствующих типах лесорастительных условий (экотопов) при наименьших материальных и трудовых затрат [19,21]. Основными критериями оптимального породного состава защитных лесных насаждений являются: их целевое назначение, соответствие типа условий роста, оптимальная конструкция и структура породного состава, выбор эффективных главных и сопутствующих пород, оптимальное размещение по территории древесных пород, оптимальное смешивание породного состава. Важнейший из перечисленных критериев – целевое назначение насаждений, поскольку он является своеобразной программой, по которой планируется выращивание насаждений с ориентацией на достижение ими в определенном возрасте соответствующей конструкции. Формирование целевой конструкции нужно обеспечить в раннем возрасте древостоев, что будет способствовать минимизации затрат ресурсов [7,23].

С целью повышения экологической и агролесомелиоративной роли защитных лесных насаждений, уменьшения загрязнения территорий, а

также для безопасного использования земельных ресурсов необходимо дальнейшее совершенствование существующих методов создания в регионе эффективных оптимизированных систем защитных лесных насаждений (таблица 2). Для обеспечения наибольшего экологического эффекта уточнения требуют вопросы: оптимального размещения защитных лесных насаждений на территории, расширение ассортимента используемых пород, полный учет ингредиентов загрязнения окружающей природной среды, совершенствование технологий выращивания древостоев, лесоводческой ухода за ними [2,5].

Таблица 2.

Потребность ЮФО в защитных насаждениях, га

Основные виды насаждений	Площадь насаждений, га		
	Требуемая	Имеющаяся	Планируемая
Полезащитные	645,9	359,5	286,4
Противоэрозионные	588,9	193,9	395,0
На песках и аридных пастбищах	817,0	142,8	674,2
Облесение коренных берегов рек	26,9	-	26,9
Облесение поселков и полевых станов	15,9	8,4	7,5
Всего всех видов ЗЛН	2094,6	704,6	1390,0

Примечание. Составлено по: [21; 22].

Положительный результат агролесомелиоративного обустройства территории в степи существенно зависит от удачности подбора древесно-кустарниковых пород, конструкции насаждений и четкого соблюдения технологии ухода: своевременного проведения агротехнических и лесохозяйственных мероприятий [4]. Ассортимент деревьев и кустарников для применения в защитном лесоразведении довольно разнообразен, в зависимости от лесорастительных условий того или иного района, биологических свойств пород, а также назначение определенного насаждения (таблица 3). Чем более жесткие условия произрастания, тем более взвешенным должен быть подбор ассортимента деревьев и кустарников, особенно на солонцеватых и засоленных почвах, требующих глубокой и своевременной обработки почвы. Для таких условий древесные породы должны быть с повышенной засухоустойчивостью, отличаться минимальной требовательностью к плодородию почвы, давать хороший прирост древесины, урожай орехов и плодов, а также ценное техническое сырье [16].

Таблица 3.

**Перечень деревьев и кустарников для лесоразведения
в степной и сухостепной зонах**

Основной вид дерева	Сопутствующий вид дерева	Кустарник
Степная зона (неорашаемые земли)		
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>), лиственница сибирская (<i>Lárix sibirica</i>), сосны обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) и крымская (<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i>), ясень обыкновенный (<i>Fráxinus excélsior</i>), орехи черный (<i>Juglans nigra</i>) и грецкий (<i>Júglans régia</i>), робиния псевдоакация (<i>Robinia pseudoacácia</i>), гледичия трехлопучковая (<i>Gleditsia triacanthos</i>), вяза приземистый (<i>Ulmus pumila</i>), шершавый (<i>Ulmus glábra</i>) и обыкновенный (<i>Ulmus laévis</i>), каштан конский (<i>Aésculus</i>)	Шелковица белая (<i>Mogus álba</i>), липа мелколистная (<i>Tilia cordáta</i>), груша обыкновенная (<i>Pýrus commúnis</i>), клены полевой (<i>Ácer campéstre</i>), остролистный (<i>Acer platanoides</i>) и татарский (<i>Ácer tatáricum</i>), абрикос обыкновенный (<i>Prúnus armeniáca</i>), айва обыкновенная (<i>Cydōnia</i>), яблоня лесная (<i>Málus sylvéstris</i>), лох серебристый (<i>Elaeagnus commutata</i>)	Смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i>), шиповник обыкновенный (<i>Rosaceae</i>), ирга круглолистная (<i>Ameláncier ovális</i>), скумпия кожевенная (<i>Cotinus coggygria</i>), терн (<i>Prunus spinosa</i>), алыча (<i>Prúnus cerasifera</i>), вишня степная (<i>Prúnus fruticósa</i>), лещина обыкновенная (<i>Córylus avellána</i>), боярышник мягковатый (<i>Crataegus submollis</i>)
Степная и сухостепная зоны (орашаемые земли)		
Ивы древовидные (<i>Salicaceae</i>), тополя бальзамический (<i>Populus balsamifera</i>), черный (<i>Pópulus nígra</i>), евроамериканский гибрид (<i>Populus x euramericana</i>), пирамидальный (<i>Populus pyramidalis</i>), Болле (<i>Populus bolleana Louche</i>), робиния псевдоакация (<i>Robinia pseudoacácia</i>), гледичия трехлопучковая (<i>Gleditsia triacanthos</i>), дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>), орехи черный (<i>Juglans nigra</i>) и грецкий (<i>Júglans régia</i>), вяз шершавый (<i>Ulmus glábra</i>)	Айлант высочайший (<i>Ailánthus altíssima</i>), вяз обыкновенный (<i>Ulmus laévis</i>), клены полевой (<i>Ácer campéstre</i>) и остролистный (<i>Acer platanoides</i>), шелковица белая (<i>Mógus álba</i>), груша лесная (<i>Pýrus commúnis</i> subsp. <i>pyráster</i>), абрикос обыкновенный (<i>Prúnus armeniáca</i>), облепиха крушиновая (<i>Hippórhaphae rhamnoides</i>), лох узколистный (<i>Elaeagnus angustifolia</i>), рябина обыкновенная (<i>Sórbus aucupária</i>)	Ивы кустарниковые (<i>Salix</i>), смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i>), арония (<i>Atonia</i>), боярышник однопестичный (<i>Crataegus monógyna</i>), бузина черная (<i>Sambucus nígra</i>), вишня степная (<i>Prúnus fruticósa</i>), ирга круглолистная (<i>Ameláncier ovális</i>)
Сухостепная зона (неорашаемые земли)		
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>), робиния лежакация (<i>Robinia pseudoacácia</i>), гледичия трехлопучковая (<i>Gleditsia triacanthos</i>), сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) и крымская (<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i>), вяз приземистый (<i>Ulmus pumila</i>), ясень ланцетный (<i>Fraxinus lanceolata</i>)	Айва обыкновенная (<i>Cydōnia</i>), груша обыкновенная (<i>Pýrus commúnis</i>), клен татарский (<i>Ácer tatáricum</i>), ясень ланцетный (<i>Fraxinus lanceolata</i>), абрикос обыкновенный (<i>Prúnus armeniáca</i>), яблоня лесная (<i>Málus sylvéstris</i>), лох узколистный (<i>Elaeagnus angustifolia</i>)	Вишня степная (<i>Prúnus fruticósa</i>), смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i>), скумпия кожевенная (<i>Cotinus coggygria</i>), тамарик (<i>Tamarix</i>), карагана древовидная (<i>Caragána arboréscens</i>), акация песчаная (<i>Ammodéndron</i>)

Примечание. Составлено по: [20; 24].

Экономическая эффективность лесомелиоративных насаждений заключается в повышении результативности сельскохозяйственного производства и защищаемых объектов. При наличии взаимосвязанной системы лесомелиоративных насаждений, урожайность сельскохозяйственных культур повышается на 8-18%, осыпание спелых нескошенных зерновых уменьшается в 5-6 раз, а при отдельной уборке урожая не происходит перевертывание ветром скошенных валков и осыпание в результате этого зерна.

Надежным средством обеспечения рационального использования биоклиматического потенциала полей и повышения устойчивости земледелия на дефляционно- и эрозионно-опасных землях является создание завершенных систем ветроломных и стокорегулирующих лесных полос. Агроресоконплексы преобразуют открытые ландшафты и наделяют их многими полезными свойствами и функциями [12,13]. Объем капиталовложений в защитное лесоразведение определяется необходимыми затратами на проектирование, создание и выращивание насаждений до смыкания крон (таблица 4).

Таблица 4.

Среднегодовой совокупный эффект от защитного лесоразведения на пахотных землях (тыс. руб. на 1 га агролесоландшафта)

Доход от лесной мелиорации пашни	Степная зона черноземных почв	Сухостепная зона темно-каштановых почв	Сухостепная зона каштановых почв	Полупустынная зона светло-каштановых почв
Почвозащитный эффект	23,30	17,70	15,10	13,30
Агроэкономический эффект	0,29	0,28	0,26	0,19
Прибыль от реализации древесины	6,00	5,80	4,20	1,80
Прибыль от побочного пользования лесом	5,50	7,20	8,30	9,30
Совокупный эффект	35,09	30,98	27,86	24,59

Примечание. Составлено по: [7; 8; 21].

Таким образом, экономическая эффективность защитных лесных насаждений складывается из следующих элементов:

- прибавка урожая сельскохозяйственных культур и другой продукции;
- прирост древесины;
- сбор плодов, ягод, технического сырья;

- снижение ущерба причиняемого засухой, суховеями, ветровой и водной эрозии;
- снижение затрат на материальные свойства, используемые для получения сельскохозяйственной продукции [17].

Ветроломные лесные полосы создают в дефляционно-опасных районах на равнинах приводораздельного фонда земель (с уклоном до 1-2°). При лесомелиорации пахотных угодий основное внимание уделяют оценке лесорастительных условий территории, которые определяют ассортимент деревьев и кустарников, ширину и рядность устойчивых лесных полос [29].

Таблица 5.

Параметры ветроломных лесных полос на пахотных землях Юга России

Показатели Скороспелые породы Долговечные породы		
Лесостепь и настоящая степь		
Породы	Береза повислая	Дуб черешчатый с примесью клена остролистного или груши обыкновенной
Число рядов	3	4
Ширина лесополос, м	9	12
Засушливая и сухая степь		
Породы	Робиния лжеакация, гледичия трехколючковая	Дуб черешчатый с примесью клена остролистного или груши обыкновенной
Число рядов	4	4
Ширина лесополос, м	12	12
Полупустыня		
Породы	Робиния лжеакация, гледичия трехколючковая, вяз приземистый	
Число рядов	3	-
Ширина лесополос, м	12	-

Примечание. Составлено по: [7; 8; 21; 22].

Из скороспелых деревьев в лесостепи и степи наибольшую перспективу использования имеет береза повислая, в засушливой и сухой степи – робиния лжеакация, гледичия трехколючковая; в полупустыне – вяз приземистый. Из долговечных – во всех природных зонах, кроме полупустыни, – дуб черешчатый с кустарником в опушечных рядах. В полупустыне, в связи с высоким риском раннего расстройств и гибели лесных культур, использование долговечных пород нецелесообразно [7]. Эффективную защиту полей от ветровой эрозии обеспечивают малорядные лесные полосы (см. табл. 5).

Затраты на создание ветроломных лесных полос являются в основном функцией зональных условий и защитной лесистости агролесоландшафтов [20] (см. табл. 6). При типовой 50% защищенности полей они увеличиваются от лесостепи к сухой степи и полупустыне в 2,1-3,2 раза ($r = 0,98-0,99$). При повышении лесистости до 4,0-5,4% в лесостепи, – 10-12% в сухой степи и полупустыне – для достижения 100% защищенности полей (путем уменьшения межполосного расстояния с 30 до 15 высот насаждений) – капиталоемкость лесомелиоративных работ увеличивается соответственно в 1,8 и 2,1-2,2 раза ($r = 0,97-0,99$), то есть пропорционально росту защитной лесистости угодий. В зональном разрезе лесостепь – полупустыня работы, направленные на достижение полной защищенности полей, дорожают в 2,4-4,0 раза.

Таблица 6.

Затраты на создание системы ветроломных лесных полос на пахотных землях Юга России, подверженных дефляции, тыс. руб./га агролесоландшафта

Расчетные показатели	Защищенность полей, %					
	50		68		100	
	1	2	*	*		
Лесостепь						
Межполосное расстояние, м	700	700	500	500	370	370
Защитная лесистость, %	3,3	4,0	3,7	4,6	5,0	6,4
Сумма капвложений	1,6	2,0	1,9	2,4	2,8	3,6
Настоящая степь						
Межполосное расстояние, м	600	600	450	450	340	340
Защитная лесистость, %	3,7	4,6	4,2	5,2	5,5	6,0
Сумма капвложений	3,2	3,8	3,5	4,2	4,6	5,6
Засушливая степь						
Межполосное расстояние, м	500	500	360	360	280	280
Защитная лесистость, %	5,2	5,2	6,4	6,4	8,2	8,2
Сумма капвложений	4,9	4,6	6,0	5,6	7,6	7,1
Сухая степь						
Межполосное расстояние, м	450	450	280	280	220	220
Защитная лесистость, %	5,8	5,8	8,2	8,2	11,2	11,2
Сумма капвложений	5,5	5,2	5,7	7,3	10,5	9,9
Полупустыня						
Межполосное расстояние, м	350	-	230	-	100	-
Защитная лесистость, %	6,4	-	10,0	-	13,0	-
Сумма капвложений	6,1	-	9,4	-	12,2	-

Примечание. Составлено по: [7; 8; 21; 22].*1 и 2 – при использовании скороспелых и долговечных пород.

Стокорегулирующие лесные полосы создаются на склоновой пашне при уклонах 2-6°. При обосновании их биоинженерных параметров прежде всего учитывается степень смытости почв, определяющая их лесопригодность (см. табл. 7).

Таблица 7.

Параметры стокорегулирующих лесных полос на пахотных землях Юга России

Показатели	Крутизна склона, °					
	2,1-3,0		3,1-5,0		5,1-6,0	
	несмытые и слабосмытые почвы		среднесмытые почвы		сильносмытые почвы	
	скоро-спелые породы	долго-вечные породы	скоро-спелые породы	долго-вечные породы	скоро-спелые породы	долго-вечные породы
Лесостепь						
Породы	Бп*, Тб, Тс	Дч	Бп, Тб, Тс	Лс	Бп, Тб, Тс	Лс
Число рядов	3	3	3	3	2	2
Ширина полос, м	8	8	8	8	6	6
Настоящая и засушливая степь						
Породы	Бп, Тб	Дч	Бп, Тб	Лс	Бп, Тб	Лс
Число рядов	3	3	3	3	2	2
Ширина полос, м	9	9	9	9	6	6
Сухая степь						
Породы	Ро, Гл, Вп	Дч	Ро, Гл, Вп	Ял	Ро, Гл, Вп	Ял
Число рядов	3	3	3	3	2	2
Ширина полос, м	9	9	9	9	6	6

Примечание. Составлено по: [7; 8; 21; 22]. *Приняты обозначения: Бп – береза повислая; Тб – тополь бальзамический; Тс – тополь серебристый; Дч – дуб черешчатый; Лс – лиственница сибирская; Ро – робиния лжеакация; Гл – гледичия трехколючковая; Вп – вяз приземистый; Ял – ясень ланцетный.

Так, при лесомелиоративном обустройстве склоновых земель со смытыми почвами черноземной степи (кроме южных районов) – предпочтительно использовать малотребовательные – березу, лиственницу, на более увлажненных метельные к плодородию породы: в лесостепи и стоположениях – тополя; на несмытых и слабосмытых почвах – дуб; в сухостепных районах на смытых каштановых почвах – робинию, гледичию, вяз и ясень; на слабосмытых почвах – дуб. Для облесения участков с сильносмытыми почва-

ми из ассортимента исключают ильм, клен остролистный, яблоню и грушу обыкновенную, так как эти породы растут здесь очень медленно [6, 26].

Во всех природных зонах при увеличении уклона местности ширину стокорегулирующих лесных полос уменьшают с 9-8 до 6 метров [10].

Затраты на противозрозионную лесомелиорацию склоновой пашни в расчете на 1 га агролесоландшафта находятся в прямой зависимости от влагообеспеченности (гумидности) природной зоны (см. табл. 8). Так, в лесостепи они составляют 2,2-4,1 тыс. руб. на 1 га агролесоландшафта, а в сухой степи, вследствие уменьшения нормы атмосферных осадков и увеличения межполосных расстояний, – уменьшаются в 1,21,3 раза ($r = 0,85-0,98$) [6].

Таблица 8.

Затраты на создание системы стокорегулирующих лесных полос на склоновой пашне Юга России, тыс. руб./га агролесоландшафта

Расчетные показатели	Крутизна склона, °							
	2,1- -3,0		3,1-4,0		4,1- -5,0		5,1- -6,0	
	несмытые и слабо-смытые почвы		среднесмытые почвы				сильносмытые почвы	
	1 *	2 *	1	2	1	2	1	2
Лесостепь								
Межполосное расстояние, м	270	270	190	190	140	140	130	130
Защитная лесистость, %	3,0	3,0	4,2	4,2	5,7	5,7	4,6	4,6
Сумма капвложений	3,45	3,56	5,06	5,06	6,77	6,77	5,97	5,97
Настоящая и засушливая степь								
Межполосное расстояние, м	440	440	280	280	210	210	170	170
Защитная лесистость, %	2,0	2,0	3,2	3,2	4,3	4,3	3,5	3,5
Сумма капвложений	1,72	1,80	2,76	2,76	3,26	3,26	2,57	2,57
Сухая степь								
Межполосное расстояние, м	520	520	320	320	240	240	190	190
Защитная лесистость, %	1,7	1,7	2,8	2,8	3,8	3,8	3,2	3,2
Сумма капвложений	1,71	1,78	2,72	2,72	3,18	3,18	2,34	2,34

Примечание. Составлено по: [7; 8; 22].* 1 и 2 – при использовании скороспелых и долговечных пород.

Мероприятия по созданию стокорегулирующих лесных полос из долговечных пород (дуба) на несмытых и слабосмытых почвах (крутизна склона 2-3°) обходятся дороже (2,3-1,8 тыс. руб./га агролесоландшафта), из скороспелых – дешевле (2,2-1,7 тыс. руб./га агролесоландшафта).

Увеличение крутизны склона с 2° до 5° вызывает рост затрат в 1,8-1,9 раза, а с 5° до 6° – уменьшение на 15-26 % (благодаря уменьшению ширины лесополос).

Известно, что большинство сельскохозяйственных районов на юге страны подвержены совместному проявлению водной и ветровой эрозии. В этом случае при обосновании затрат предпочтение следует отдавать рельефу, то есть ориентироваться в первую очередь на использование стокорегулирующих функций лесных полос. При этом в большинстве случаев обеспечивается и наиболее эффективное их ветроломное воздействие (за счет сближенных расстояний между лесными полосами). Исключение составляет склоновая пашня в районах сильной дефляции [30; 31].

Особенно сложной задачей является создание лесных насаждений на засоленных землях. На таких почвах лесные культуры приживаются редко или погибают через несколько лет после посадки [28,32]. Решить эту проблему можно только путем подбора соответствующих методов создания достаточно устойчивых насаждений с учетом целесообразности и экономической оправданности их выращивания.

Для создания лесных насаждений на засоленных землях целесообразно использовать такие древесные породы – биоту восточную (*Biota orientalis* L.), сосну крымскую (лат. *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*), гледичию триколочкову (*gleditsia triacanthos* L.), маслинку обычную (лат. *Elaeagnus commutata*); из кустарников – бирючину (лат. *Ligustrum vulgare*), жимолость татарскую (лат. *Lonicera tatarica* L), аморфу (лат. *Amorpha* L.), свидина (лат. *Cornus* L.), церцис (лат. *Cercis* L.) и тамарикс (лат. *Tamarix* L.) [6,18].

Заключение

Для улучшения условий окружающей среды, снижение опасности развития неблагоприятных природных и антропогенных явлений, в засушливых районах одной из первоочередных задач является формирование оптимизированных систем защитных лесных насаждений и общее увеличение лесистости территории. Это требует выполнения масштабных лесокультурных работ на малопродуктивных землях, изъятых из сельскохозяйственного производства.

Использование приведенных расчетов и закономерностей позволит повысить экономическую обоснованность капитальных вложений при планировании и проектировании лесомелиоративных мероприятий на пахотных землях проблемных регионов юга России.

Так же, эффективное применение предложенных методов проведения лесомелиоративных работ и обоснованных научных рекомендаций, способствуют созданию устойчивых, производительных и долговечных лесных культур. Весь предложенный комплекс мероприятий имеет важное практическое значение и позволяет рационально использовать степные земли, непригодные для сельскохозяйственного пользования, путем создания научно обоснованных систем защитных и мелиоративных лесных насаждений, являющихся частью экологической основы устойчивого развития аридной зоны.

Список литературы

1. Дендрометрия: курс лекций для студентов направления «Ландшафтная архитектура» / Бабошко О.И.; НИМИ ДГАУ. Новочеркасск, 2014. 77 с.
2. Васильев Ю.И. Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2003. 176 с.
3. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2008 году. Волгоград: Панорама, 2009. 384 с.
4. Картографирование классов бонитета лесов Приморского края на основе спутниковых изображений и данных о характеристиках рельефа / Соколова Е.Н., Сурков Н.Б., Ершов Д.Б., Егоров Б.А., Барталев С.С., Барталев С.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 5. С. 96-109. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-96-109>
5. Коваль Ю.Н. Лесные пожары на территории Ермаковского муниципального района Красноярского края в 2018 году // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12, №5. С.42-52. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-42-52>
6. Кулик К.Н., Пугачева А.Н. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22, № 1. С. 77-85.
7. Манаенков А.С., Корнеева Е.А. Методология и результаты оценки эффективности капитальных вложений в лесомелиорацию сельскохозяйственных земель // Региональная экономика. Юг России. 2012. №13. С. 470-476.
8. Манаенков А.С., Корнеева Е.А. Эколого-экономическая эффективность лесной мелиорации сельскохозяйственных земель Нижнего Поволжья //

- Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. №4 (36). С. 197-202.
9. Методические указания по ландшафтно-экологическому профилированию при агролесомелиоративном картографировании / Кулик К.Н., Павловский Е.С., Рулев А.С., Юферев В.Г., и др. М.: Россельхозакадемия, 2007. 42 с.
 10. Методические рекомендации по экономической оценке лесов. Москва, 1976. 33 с.
 11. Мозолевская Е. Г. Методы оценки и прогноза динамики состояния насаждений // Лесное хозяйство. 1998. № 3. С. 43-45
 12. Несват А.П., Родимцева А.В., Бабеньшева Н.В. Современное состояние и перспективы развития защитного лесоразведения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 2. С. 15–17.
 13. Павловский Е.С., Карган А.В. Справочник по агролесомелиоративному устройству. М.: Лесная промышленность, 1977. 152 с.
 14. Паулюкявичус Г. Б. Роль леса в экологической стабилизации ландшафтов. М.: Наука, 1989. 215 с.
 15. Полезащитное лесоразведение: значение, состояние, пути выхода из кризиса / К. Н. Кулик, А. С. Манаенков, А. Ю. Раков [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 24-27.
 16. Рулев А.С. Ландшафтно-географический подход в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. 160 с.
 17. Рулев А.С., Пугачева А.М. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной агролесомелиорации субаридных ландшафтов // Лесоведение. 2018. №5. С. 389-398. <https://doi.org/10.1134/S0024114818040101>
 18. Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. Геоморфологические критерии проведения лесомелиорации ландшафтов (на примере Приэльтонья) // Геоморфология. 2017. №2. С. 63-71. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2017-2-63-71>
 19. Сучков Д.К., Рулева О.В. Ландшафтно-географический подход к оценке состояния насаждений в балке «Отрадной» // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, No 1. С. 174-194. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-174-194>
 20. Сучков Д.К. Роль и экономическая эффективность защитных лесных насаждений в восстановлении и преобразовании ландшафтов // Научно-агрономический журнал. 2018. № 1 (102). С. 20-23.
 21. Сборник расчетно-технологических карт на работы по защитному лесоразведению. Т. I. Создание полезащитных и водорегулирующих лесных полос. М.: Гослесхоз, 1985. 268 с.

22. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2008. 34 с.
23. Танюкевич В.В. Агролесомелиоративное устройство: курс лекций для студентов направления «Ландшафтная архитектура» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова (ФГБОУ ВО «Донской ГАУ. Новочеркасск, 2014. 87 с.
24. Тимерьянов А.Ш. Защитные лесные насаждения и воспроизводство агролесных ландшафтов // Доклады РАСХН. 2012. № 6. С. 47-50.
25. Трибунская В.М. Экономическая эффективность ЗЛН в системе охраны почв от эрозии. Москва: Агропромиздат, 1990. 176 с.
26. Чупахин В.М. Основы ландшафтоведения. М.: Агропромиздат, 1987. 168 с.
27. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А., Омаров Р.С. Изучение и картографирование ландшафтов полуострова Сарептский на Нижней Волге // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, №3 (56). С. 86-96. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-86-96>
28. Cherubini F., Santaniello F., Hu X., Sonesson J., Hammer Strømman A., Weslien J., Djupström L.B., Ranius T. Climate impacts of retention forestry in a Swedish boreal pine forest // J Land Use Sci. 2018. Vol. 13. No 3. P. 301–318. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1529831>
29. Fischer J., Meacham M., Queiroz C. A plea for multifunctional landscapes // Front Ecol Environ. 2017. Vol. 15. No 2. P. 59. <https://doi.org/10.1002/fee.1464>
30. Guidelines for Soil Description and Classification Central and Eastern European Students' Version / M. Switoniak, C. Kabala, A. Karklins. Torun, 2018. 286 p.
31. Hallinger M., Johansson V., Schmalholz M., Sjöberg S., Ranius T. Factors driving tree mortality in retained forest fragments // For Ecol Manag. 2016. Vol. 368. P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.023>
32. Laginha Pinto Correia D., Raulier F., Filotas É., Bouchard M. Stand height and cover type complement forest age structure as a biodiversity indicator in boreal and northern temperate forest management // Ecol Indic. 2017. Vol. 72. P. 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.033>
33. Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology // J Appl Ecol. 2017. Vol. 54. P. 12–27. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12669>
34. Tanyukevich V.V., Kulik A.V., Domanina O.I., Tyurin S.V., Kvasha A.A. Fires in arid agroforestral landscapes and their damage assessment // Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. 2019. Vol. 61, № 2. P. 99-107. <https://doi.org/10.17423/afx.2019.61.2.10>

References

1. Baboshko O. I. *Dendrometriya: kurs lektsiy dlya studentov napravleniya «Landscape architecture»* [Dendrometry: a course of lectures for students of the direction "Landscape architecture"]. Novocherkassk, 2014. 77 p.
2. Vasil'ev Yu. I. *Effektivnost' sistem lesnykh polos v bor'be s deflyatsiei pochv* [Effectiveness of forest strip systems in combating soil deflation]. Volgograd: VNIALMI, 2003. 176 p.
3. *Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2008 godu* [Report on the state of the environment of the Volgograd region in 2008]. Volgograd: Panorama, 2009. 384 p.
4. Sochilova E.N., Surkov N.B., Ershov D.B., Egorov B.A., Bartalev S.S., Bartalev S.A. Kartografirovaniye klassov boniteta lesov Primorskogo kraja na osnove sputnikovykh izobrazheniy i dannykh o kharakteristikakh rel'efa [Mapping of forest bonus classes in Primorsky Krai based on satellite images and data on terrain characteristics]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2018, vol. 15, no. 5, pp. 96-109. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-96-109>
5. Koval' Yu.N. Lesnye pozhary na territorii Ermakovskogo munitsipal'nogo rayona Krasnoyarskogo kraja v 2018 godu [Forest fires in the territory of the Ermakovsky Municipal District of the Krasnoyarsk Territory in 2018]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 42-52. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-42-52>
6. Kulik K.N., Pugacheva A.N. Struktura rastitel'nykh soobshchestv zaleznykh zemel' v sisteme kurtinnykh zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v sukhikh stepyakh [Structure of fallow land plant communities in the system of curtain protective forest stands in dry steppes]. *Aridnyye ekosistemy* [Arid ecosystems], 2016. vol. 22, no. 1, pp. 77-85.
7. Manaenkov A.S., Korneeva E.A. Metodologiya i rezul'taty otsenki effektivnosti kapital'nykh vlozheniy v lesomelioratsiyu sel'skokhozyaystvennykh zemel' [Manaenkov A. S., Korneeva E. A. Methodology and results of evaluating the effectiveness of capital investments in forest reclamation of agricultural land]. *Regional'naya ekonomika. Yug Rossii* [Regional economy. South of Russia], 2012, no. 13, pp. 470-476.
8. Manaenkov A.S., Korneeva E.A. Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' lesnoy melioratsii sel'skokhozyaystvennykh zemel' Nizhnego Povolzh'ya [Manaenkov A. S., Korneeva E. A. Ecological and economic efficiency of forest reclamation of agricultural lands of the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizh-*

- nevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshego profesional obrazovanie*, 2014, no. 4 (36), pp. 197-202.
9. Kulik K.N., Pavlovskiy E.S., Rulev A.S., Yuferev V.G. et al. *Metodicheskie ukazaniya po landshaftno-ekologicheskomu profilirovaniyu pri agrolesomeli-orativnom kartografirovani* [Guidelines for landscape and ecological profiling in agroforestry mapping]. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2007, 42 p.
 10. *Metodicheskie rekomendatsii po ekonomicheskoy otsenke lesov* [Methodological recommendations for the economic assessment of forests]. Moscow, 1976, 33 p.
 11. Mozolevskaya E. G. *Metody otsenki i prognoza dinamiki sostoyanii nasadeniy* [Methods of estimation and forecast of the dynamics of the state of plantings]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1998, no. 3, pp. 43-45
 12. Nesvat A.P., Rodimtseva A.V., Babenysheva N.V. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya* [Current state and prospects for the development of protective afforestation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2011, no. 2, pp. 15–17.
 13. Pavlovskiy E.S., Kargan A.V. *Spravochnik po agrolesomeli-orativnomu ustroystvu* [Handbook of agroforestry management]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977, 152 p.
 14. Paulyukyavichus G.B. *Rol' lesa v ekologicheskoy stabilizatsii landshaftov* [The role of forests in the ecological stabilization of landscapes]. Moscow: Nauka, 1989. 215 p.
 15. Kulik K.N., Manaenkov A.S., Rakov A. Yu. et al. *Polezashchitnoe lesorazvedenie: znachenie, sostoyanie, puti vykhoda iz krizisa* [Forest protection afforestation: significance, status, ways out of the crisis]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2012, no. 1, pp. 24-27.
 16. Rulev A.S. *Landshaftno-geograficheskiy podkhod v agrolesomeli-oratsii* [Landscape-geographical approach in agroforestry]. Volgograd: VNIALMI, 2007, 160 p.
 17. Rulev A.S., Pugacheva A.M. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty nelineynoy agrolesomeli-oratsii subaridnykh landshaftov* [Theoretical and applied aspects of nonlinear agroforestry of subarid landscapes]. *Lesovedenie*, 2018, no. 5, pp. 389-398. <https://doi.org/10.1134/S0024114818040101>
 18. Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. *Geomorfologicheskie kriterii provedeniya lesomeli-oratsii landshaftov (na primere Priel'ton'ya)* [Geomorphological criteria for forest reclamation of landscapes (on the example of the Elton Region)]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2017, no. 2, pp. 63-71. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2017-2-63-71>

19. Suchkov D.K., Ruleva O.V. Landshaftno-geograficheskiy podkhod k otsenke sostoyaniya nasazhdeniy v balke «Otradnoy» [Landscape-geographical approach to the assessment of the state of plantings in the “Otradnaya” ravine]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 174-194. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-174-194>
20. Suchkov D.K. Rol' i ekonomicheskaya effektivnost' zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v vosstanovlenii i preobrazovanii landshaftov [The role and economic efficiency of protective forest stands in the restoration and transformation of landscapes]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal*, 2018, no. 1 (102), pp. 20-23.
21. *Sbornik raschetno-tehnologicheskikh kart na raboty po zashchitnomu lesorazvedeniyu. T. I. Sozdanie polezashchitnykh i vodoreguliruyushchikh lesnykh polos* [Collection of calculation and technological maps for work on protective afforestation. T. I. Creation of protective and water-regulating forest strips.]. Moscow: Gosleskhoz, 1985, 268 p.
22. *Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda* [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2020]. Volgograd: VNIALMI, 2008, 34 p.
23. Tanyukevich V.V. *Agrolesomeliorativnoe ustroystvo: kurs lektsiy dlya studentov napravleniya “Landshaftnaya arkhitektura” Novocherkasskogo inzhenerno-meliorativnogo instituta im. A.K. Kortunova (FGBOU VO “Donskoy GAU* [Agroforestry device: course of lectures for students of the direction “Landscape architecture” of the Novocherkassk Engineering and Meliorative Institute named after A. K. Kortunov (FGBOU VO “Donskoy GAU)]. Novocherkassk, 2014, 87 p.
24. Timer'yanov A.Sh. Zashchitnye lesnye nasazhdeniya i vosproizvodstvo agrolesnykh landshaftov [Protective forest plantings and reproduction of agroforest landscapes]. *Doklady RASKhN* [Reports of RASKHN], 2012, no. 6, pp. 47-50.
25. Tribunskaya V.M. *Ekonomicheskaya effektivnost' ZLN v sisteme okhrany pochv ot erozii* [Economic efficiency of ZLN in the system of soil protection from erosion]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 176 p.
26. Chupakhin V.M. *Osnovy landshaftovedeniya* [Osnovy landscape studies]. Moscow: Agropromizdat, 1987, 168 p.
27. Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A., Omarov R.S. Izuchenie i kartografirovanie landshaftov poluostrova Sareptskiy na Nizhney Volge [Izuchenie i kartografirovanie landscapes of the Sareptsky Peninsula on the Lower Volga]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [Yug Rossii: ecology, development], 2020, vol. 15, no. 3 (56), pp. 86-96. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-86-96>
28. Cherubini F, Santaniello F, Hu X, Sonesson J, Hammer Strømman A, Weslien J, Djupström L.B., Ranius T. Climate impacts of retention forestry in a Swedish

- boreal pine forest. *J Land Use Sci.*, 2018, vol. 13, no. 3, pp. 301–318. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1529831>
29. Fischer J, Meacham M, Queiroz C. A plea for multifunctional landscapes. *Front Ecol Environ.*, 2017, vol. 15, no. 2, p. 59. <https://doi.org/10.1002/fee.1464>
 30. Guidelines for Soil Description and Classification Central and Eastern European Students' Version / M. Switoniak, C. Kabala, A. Karklins. Torun, 2018, 286 p.
 31. Hallinger M., Johansson V., Schmalholz M., Sjöberg S., Ranius T. Factors driving tree mortality in retained forest fragments. *For Ecol Manag.*, 2016. vol. 368, pp. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.023>
 32. Laginha Pinto Correia D., Raulier F., Filotas É., Bouchard M. Stand height and cover type complement forest age structure as a biodiversity indicator in boreal and northern temperate forest management. *Ecol Indic.*, 2017, vol. 72, pp. 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.033>
 33. Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *J Appl Ecol.*, 2017, vol. 54, pp. 12–27. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.1266934>
 34. Tanyukevich V.V., Kulik A.V., Domanina O.I., Tyurin S.V., Kvasha A.A. Fires in arid agroforestral landscapes and their damage assessment. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2019, vol. 61, no. 2, pp. 99-107. <https://doi.org/10.17423/afx.2019.61.2.10>

ДАНИЕ ОБ АВТОРЕ

Сучков Дмитрий Константинович, младший научный сотрудник

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (лаборатория прогнозирования биопродуктивности агролесоландшафтов)

Университетский просп., 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация

suchkov1992@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Dmitry K. Suchkov, Junior Researcher

Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Laboratory for Predicting the Bio-productivity of Agroforests)

97, Universitetskiy prosp., Volgograd, 400062, Russian Federation

suchkov1992@yandex.ru

SPIN-code: 9120-1029

ORCID: 0000-0002-5923-240X

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-139-157

УДК 619.798.2. 612.06

АКТИВНОСТЬ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ КИСЛОРОДА У ЛОШАДЕЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*О.А. Коленчукова, Л.В. Степанова, А.С. Федотова,
А.В. Коломейцев, А.В. Макаров*

Целью исследования являлось изучение активности свободных радикалов кислорода у спортивных лошадей до и после физических нагрузок разной интенсивности. Для этого у 21 спортивной лошади тракненской породы со специализацией «выездка» в возрасте от 4 до 18 лет отбирались нейтрофильные гранулоциты, сыворотка крови и слюна. Тестирование лошадей проводили до и после тренировок с низкой, средней и высокой интенсивностями. Определяли частоту дыхательных движений, сердечных сокращений и электрокардиограмму. Гематологический и биохимический анализ крови лошадей проводили по общепринятой методике. Первичные, вторичные и третичные радикалы кислорода в образцах оценивали с помощью хемилюминесцентного анализа. В результате отмечали повышенную активность оксидантной и антиоксидантной ферментативных систем при минимальной и средней нагрузках и антиоксидантной системы при максимальной физической нагрузке. При постепенном повышении физической активности происходит адаптация организма лошадей к испытываемым нагрузкам и, в результате, не происходит изменения активности свободных радикалов (прооксидантов и оксидантов). При этом систолический показатель лошадей – зубец Р, достоверно повышен для физической нагрузки малой интенсивности относительно показателей средней интенсивности. Результаты гематологических и биохимических исследований крови находились в диапазоне физиологической нормы до и после тренировок. При этом количество гемоглобина повышалось на большую величину при физической нагрузке малой интенсивности и на меньшую величину – при высокой интенсивности. Количество эритроцитов снижалось с повышением интенсивности физической нагрузки, а количество лейкоцитов, наоборот, возрастало. Выявлено повышение общего белка и снижение концентрации глюкозы с ростом интенсивности физической нагрузки.

Ключевые слова: трокены; ЧСС; ЧДД; физическая нагрузка; хемилюминесценция; свободные радикалы кислорода

Для цитирования. Коленчукова О.А., Степанова Л.В., Федотова А.С., Коломейцев А.В., Макаров А.В. Активность свободных радикалов кислорода у лошадей при физических нагрузках разной интенсивности // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 139-157. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-139-157

ACTIVITY OF OXYGEN RADICALS IN HORSES UNDER PHYSICAL LOADS OF DIFFERENT INTENSITIES

**O.A. Kolenchukova, L.V. Stepanova, A.S. Fedotova,
A.V. Kolomeytsev, A.V. Makarov**

The aim of the study was to study the activity of prooxidants, oxidants and antioxidants in sports horses before and after intense physical activity of varying intensity. Neutrophilic granulocytes, blood serum and saliva were collected from 21 dressage Trakehner sports horses aged 4 to 18 years. Horses were tested before and after training at different intensities (low, medium and high). Respiratory rate, heart rate, electrocardiogram, hematological and biochemical blood parameters were determined. Primary, secondary and tertiary oxygen radicals in the samples were assessed using chemiluminescence analysis. As a result of the study, an increased activity of the oxidative and antioxidant enzymatic systems was revealed at minimum and medium loads and of the antioxidant system at maximum physical exertion. Horses adapt to the increased physical activity. As a result, there is no change in the activity of free radicals (prooxidants and oxidants). At the same time, the systolic indicator of horses, the P wave, was significantly increased with low physical activity relative to the indicators of average intensity. Hematological and biochemical blood parameters before and after training were within the physiological norm. The amount of hemoglobin was higher at low exercise and lower at high exercise. The number of erythrocytes decreased with increasing intensity of physical activity, and the number of leukocytes increased. An increase in total protein and a decrease in glucose concentration with an increase in the intensity of physical activity were revealed.

Keywords: trokens; RR; HR; exercise; chemiluminescence; oxygen radicals

For citation. Kolenchukova O.A., Stepanova L.V., Fedotova A.S., Kolomeytsev A.V., Makarov A.V. Activity of oxygen radicals in horses under physical loads of different intensities. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 139-157. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-139-157

Обоснование

Спортивные лошади подвергаются значительным перегрузкам в процессе тренировки и, особенно в период соревнований, что может привести к различным расстройствам физиологического состояния и развитию патологий [7, 8, 12, 17].

Для профилактики и коррекции экстремальных перегрузок необходима разработка и использование новых методов исследования физиологических параметров организма животных. К таким методам можно отнести биофизическое тестирование [9]. Биофизические методы разработаны для комплексной оценки физиологического состояния организма и дают возможность сделать вывод о наличии или отсутствии в клетках глубоких метаболических изменений [18, 21]. Также важную роль играют процессы адаптации спортивной лошади к физическим нагрузкам различного объема и интенсивности. При этом биофизические методы позволяют отследить малейшие сдвиги в окислительно-восстановительных реакциях в клетках. Таким образом, на сегодняшний момент в спортивном коневодстве актуальным является оценка уровня тренированности и факторы, влияющие на работоспособность лошадей для предотвращения перегрузок, которые могут привести к патологиям [3, 13, 14, 19].

Адаптационная перестройка организма влияет на уровень его функциональной активности. Одним из ее критериев является баланс в работе окислительно-восстановительных реакций, в результате которых образуются свободные радикалы кислорода и липидов [1, 2, 15]. При этом свободные радикалы оказывают обширное цитотоксическое воздействие, повреждая мембраны и разрушая генетический аппарат клетки [11, 20]. Изменение метаболических реакций в организме под влиянием экстремальных физических нагрузок может отражаться на составе слюны и плазмы лошади [3, 4, 5, 6, 10, 16].

Цель

Изучение активности свободных радикалов кислорода у спортивных лошадей до и после физических нагрузок разной интенсивности.

Материалы и методы

Объектами являлись нейтрофильные гранулоциты, сыворотка крови и слюна, отобранные у 21 спортивной лошади тракененской породы со специализацией «выездка» в возрасте от 4 до 18 лет до и после физической нагрузки. Нейтрофильные гранулоциты были выделены из цельной крови. Лошади содержались в стандартных условиях учебно-спортивного комплекса коне-

водства Красноярского государственного аграрного университета (ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ). Тестирование лошадей, сбор их слюны и крови проводили до и после тренировок с низкой, средней и высокой интенсивностями.

Физическая нагрузка низкой интенсивности включала тренировку лошади в течение часа, средней интенсивности – в течение полутора часов и высокой интенсивности – в течение двух часов на корде или под седлом. Программа тренировок включала в себя следующие этапы: на свободном поводу, в сборе на рыси с включением боковых элементов, сокращение и раздвижение аллюров и переходы из одного аллюра в другой, заминку на рыси на длинном поводу, шаг.

Функциональные показатели организма лошадей определяли по частоте дыхательных движений (ЧДД), частоте сердечных сокращений (ЧСС) и электрокардиограмме (ЭКГ). ЧДД определяли визуально, оценку ЧСС проводили по электрокардиограмме (ЭКГ) на электрокардиографе ЭКЗТ-01-Р-Д («Монитор», Россия). Снятие ЭКГ проводили в трех стандартных и трех усиленных отведениях от конечностей. Анализ ЭКГ лошадей проводили по общепринятой методике, включающей в себя определение характера сердечного ритма; систолический показатель желудочков (СПЖ); высоту и ширину зубцов и интервалов [8].

Гематологический анализ крови лошадей проводили по общепринятой методике с подсчетом количества эритроцитов и лейкоцитов в камере Горяева, содержание гемоглобина – по методу Сали. Биохимический анализ сыворотки крови проводили по общепринятой методике, тестировали содержание белка и уровень глюкозы [16].

Первичные (Супероксидный анион-радикал) и вторичные (H_2O_2 , OH , IO_2 , $NSIO$) радикалы кислорода в нейтрофильных гранулоцитах оценивали с помощью люцигенин- и люминол-зависимой хемилюминесценции (ХЛ) [4]. Нейтрофильные гранулоциты выделяли в двойном градиенте фиколл-урографин. Далее отмывали в растворе Хенкса (без фенолового красного) дважды по 10 мин при 500g. Клетки разводили в 1 мл Хенкса для дальнейшего подсчета (необходимое количество клеток $2 \cdot 10^6$ /мл).

Для проведения хемилюминесцентного анализа использовали активаторы ХЛ (люминол и люцигенин в концентрации 100 мкг/мл); донорскую сыворотку (группа крови АВ, резус-фактор отрицательный), раствор Хенкса (без фенолового красного), зимозан как индуктор респираторного взрыва. Проба включала: 200 мкл взвеси нейтрофильных гранулоцитов, 20 мкл донорской сыворотки, 240 мкл раствора Хенкса, 50 мкл люминола или люцигенина (спонтанная реакция) и 40 мкл зимозана (индуцирован-

ная реакция). Хемилюминесцентный анализ осуществляли при помощи анализатора «CL3604» в течение 90 мин. Определяли величину T_{max} (максимальное время), I_{max} (максимальная интенсивность), S_{max} (площадь под кривой) и ИА (индекс активации) соотношение S_{max} зимозан-индуцированной реакции / S_{max} спонтанной реакции для каждого показателя.

Концентрацию каталазы (антиоксиданты) в сыворотке крови и слюне оценивали с помощью люминол- H_2O_2 -зависимой хемилюминесценции. Хемилюминесцентное исследование проводили на планшетном люминометре «TriStar LB 941», производства Berthold. Проба включала: 200 мкл слюны, 25 мкл люминола. После фиксации фонового свечения автоматически впрыскивалось 25 мкл 3% H_2O_2 (источник свободных радикалов). Измерение ХЛ проходило в течение 5 мин. Определяли величину T_0 (начальное время), T_{max} (максимальное время выхода на пик), I_{max} (максимальная интенсивность) и S_{max} (площадь под кривой) для каждого показателя.

По результатам исследования формировали базу данных в пакете электронных таблиц MS Excel 7,0 и осуществляли статистический анализ в пакете прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2014). Достоверность различий до и после физической нагрузки определяли по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$).

Результаты

Анализ первого этапа минимальной физической нагрузки показал увеличение таких физиологических параметров, как ЧСС и ЧДД после нагрузки, относительно показателей, полученных в покое (рис. 1).

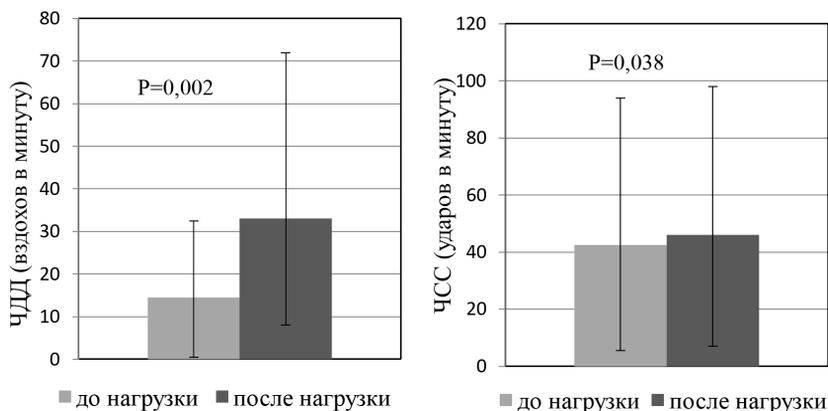


Рис. 1. ЧДД и ЧСС у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Результаты исследования проводящей системы сердца показали, что сердечный ритм исследуемых лошадей оставался синусовым регулярным. До начала тренировок электрокардиологические показатели лошадей соответствовали средним нормативным показателям.

Физическая нагрузка малой интенсивности повышала амплитуды зубца Р до 4,0 [3,0; 4,0] мм и зубца R до 13,0 [12,0; 14,0] мм относительно показателей до тренировок. Также отмечено уменьшение интервалов P-Q до 0,07 [0,06; 0,1] с, QRS до 0,06 [0,06; 0,08] с, QPST до 0,5 [0,5; 0,5] с, TP до 0,6 [0,5; 0,8] с, RR до 1,3 [1,0; 1,5] с. Систолический показатель желудочков (СПЖ) возрастал до 36,1 [31,1; 46,2] %. Таким образом мы видим изменение физиологического состояния спортивных лошадей под влиянием физической нагрузки низкой интенсивности (рис. 1).

Хемилюминесцентное определение функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов базировалось на характеристике базовой активности и резервных возможностей клеток при воздействии на них неспецифического индуктора в виде зимозана. Отдельно исследована способность нейтрофильных гранулоцитов к образованию первичных радикалов кислорода (супероксидного аниона) при активации люцигенином и образование общего пула вторичных свободных радикалов кислорода при активации люминолом. Супероксидный анион-радикал образуется в результате ферментативных реакций и является источником для образования вторичных радикалов (H_2O_2 , OH , $1O_2$, $HClO$), выделяемых фагоцитами.

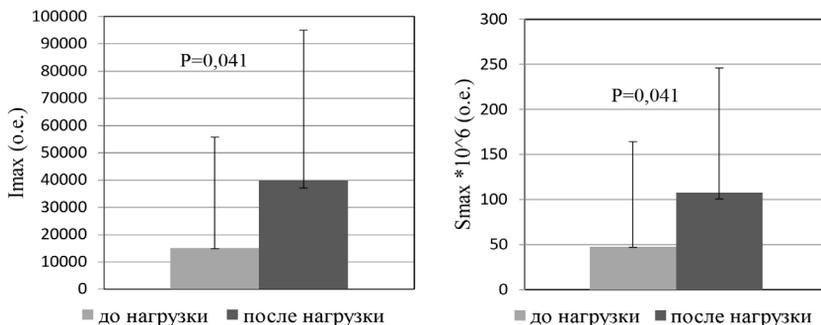


Рис. 2. Показатели I_{max} и S_{max} спонтанного люцигенин-зависимого хемилюминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Было обнаружено статистически значимое повышение интенсивности (в 2,6 и 2,4 раза) и площади (в 2,2 и 2,5 раза) спонтанного люцигенин- и

люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения после минимальных физических упражнений (рис. 2 и 3 соответственно) относительно показателей, полученных до нагрузки. Результаты могут указывать на активизацию выработки первичных и вторичных радикалов кислорода после тренировочной нагрузки у спортивных лошадей.

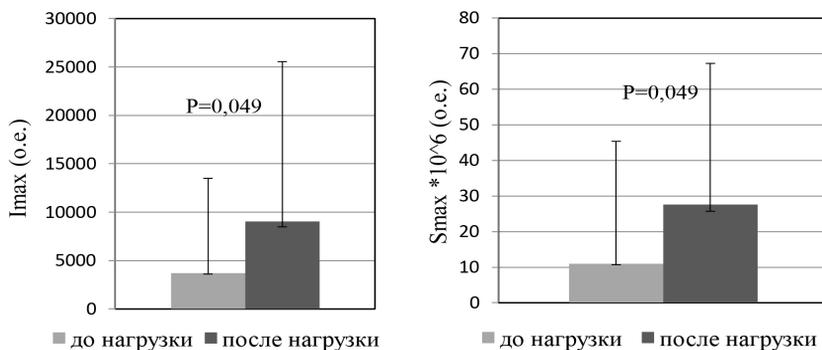


Рис. 3. Показатели I_{max} и S_{max} спонтанного люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Далее, мы провели исследование антиоксидантов в сыворотке крови у лошадей до и после физической нагрузки, и обнаружили, статистически значимое повышение площади хемилюминесцентной кривой (в 2,5 раза) и снижение времени выхода на пик (в 1,2 раза) в люминол-зависимом свечении в присутствии H_2O_2 после физической нагрузки относительно состояния покоя (рис. 4).

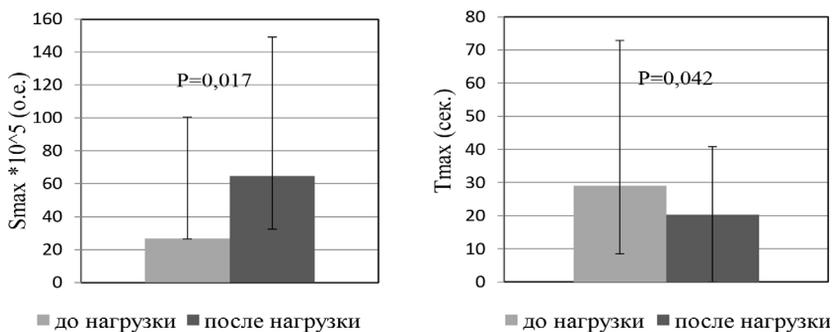


Рис. 4. Показатели S_{max} и T_{max} люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения в присутствии H_2O_2 в сыворотке крови у лошадей при физической нагрузке низкой интенсивности

Полученные результаты указывают на повышение активности антиоксидантов в сыворотке крови после нагрузки у спортивных лошадей.

Таким образом, при минимальной физической нагрузке у спортивных лошадей наблюдается активизация метаболических процессов, приводящая к образованию прооксидантов, оксидантов и антиоксидантов, направленная на интенсификацию физиологических процессов в организме.

Исследование физиологических параметров спортивных лошадей при средней физической нагрузке показало увеличение таких характеристик, как частота сердечных сокращений и дыхательных движений после нагрузки относительно измерений в покое (рис. 5). Результаты исследования проводящей системы сердца показали, что физическая нагрузка средней интенсивности не изменяла амплитуду зубца P (2,0 [2,0; 2,0] мм) и повышала амплитуду зубца R до 11,0 [7,0; 12,0] мм относительно показателей до тренировок. Отмечено также укорочение интервалов QPST до 0,4 [0,4; 0,5] с, TP – до 0,4 [0,3; 0,7] с, RR – до 1,2 [1,1; 1,5] с. СПЖ возрастал до 35,9 [33,3; 37,0] %.

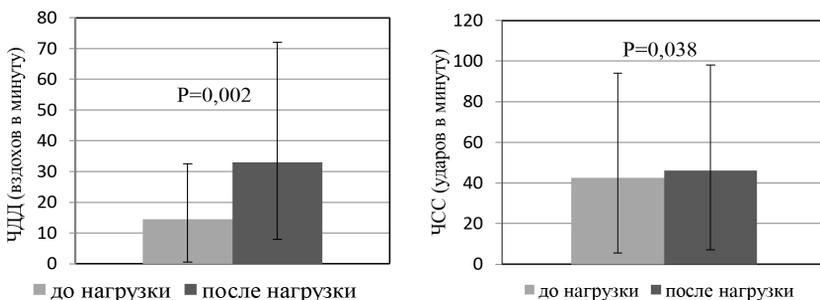


Рис. 5. ЧДД и ЧСС у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

Исследование хемилюминесцентных параметров при физической нагрузке среднего уровня показало увеличение интенсивности (2,4 и 2,5 раза) и площади под кривой (2,4 и 1,2 раза) в зимозан-индуцированном люцигенин и люминол-зависимом процессе (рис. 6 и 7 соответственно), а также площади под кривой спонтанной реакции. Что также указывает на активизацию выработки и выброс первичных и вторичных радикалов кислорода в организме спортивных лошадей при увеличении физической нагрузки.

Исследование антиоксидантной активности в сыворотке крови и слюне у лошадей до и после средней физической нагрузки; также показало статистически значимое повышение интенсивности (в 3 раза) и площади (в 4,8 и 17 раз) в люминол-зависимом хемилюминесцентном свечении в присутствии H_2O_2 относительно состояния покоя (рис. 8).

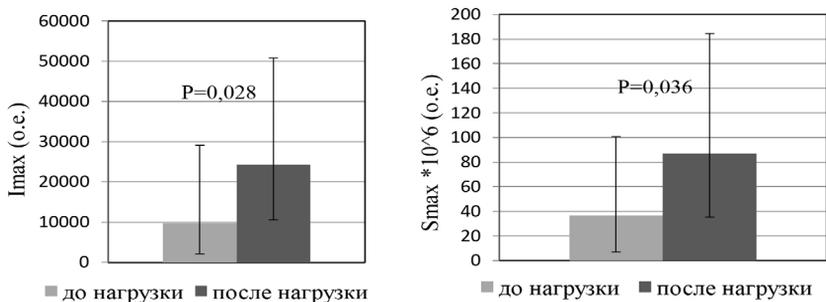


Рис. 6. Показатели I_{max} и S_{max} зимозан-индуцированного люцигенин-зависимого хемилуминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

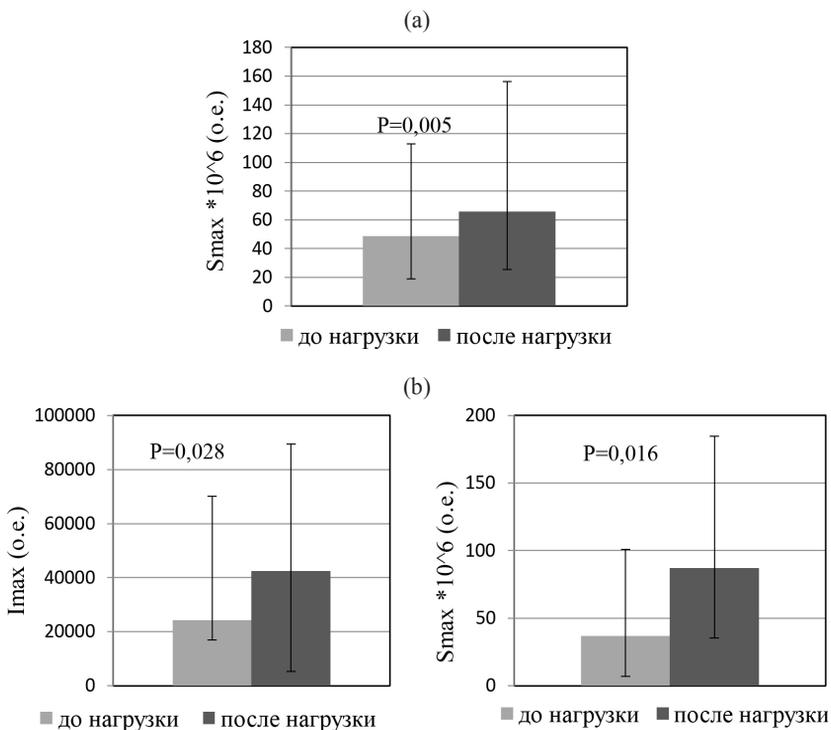


Рис. 7. Показатели I_{max} и S_{max} спонтанного (а) и зимозан-индуцированного (б) люминол-зависимого хемилуминесцентного свечения нейтрофильных гранулоцитов у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

При средней нагрузке активность антиоксидантных радикалов у спортивных лошадей продолжала увеличиваться после физических упражнений.

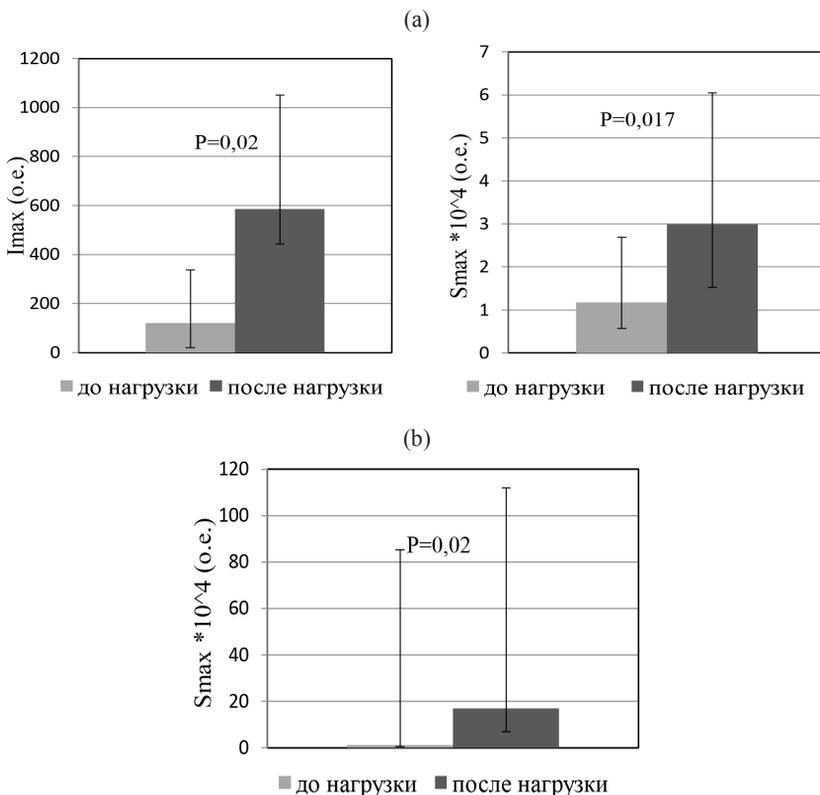


Рис. 8. Показатели I_{max} и S_{max} люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения в присутствии H_2O_2 в слюне (а) и в сыворотке (б) у лошадей при физической нагрузке средней интенсивности

Анализ физической нагрузки высокой интенсивной показал увеличение частоты сердечных сокращений и дыхательных движений после нагрузки относительно состояния покоя (рис. 9).

В результате исследования проводящей системы сердца обнаружено, что сердечный ритм исследуемых лошадей оставался синусовым регулярным. До начала тренировок электрокардиологические показатели лошадей соответствовали средним нормативным показателям. Физическая нагрузка

высокой интенсивности повышала амплитуды зубца Р до 4,0 [4,0; 4,0] мм и зубца R до 24,0 [23,0; 26,0] мм относительно показателей до тренировок.

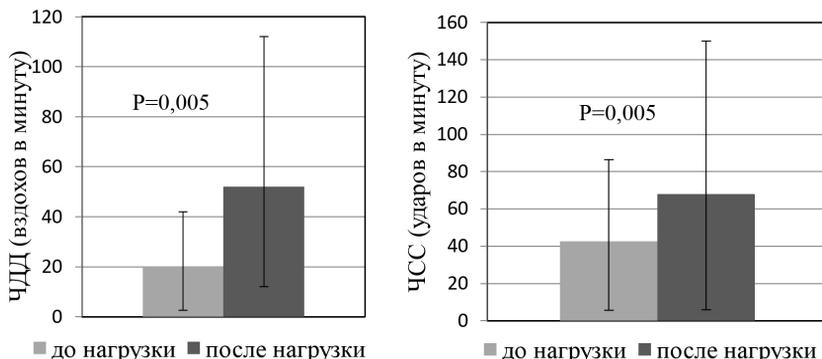


Рис. 9. ЧДД и ЧСС у лошадей при физической нагрузке высокой интенсивности

Также отмечено уменьшение интервалов TP до 0,2 [0,2; 0,2] с, RR – до 0,9 [0,8; 0,9] с. СПЖ возрастал до 49,3 [31,0; 46,9] %. Исследование интенсивности и площади спонтанного люцигенин- и люминол-зависимого хемилюминесцентного процесса до и после интенсивных физических упражнений не показали достоверных изменений. Таким образом, при повышении физической нагрузки происходит адаптация организма спортивных лошадей.

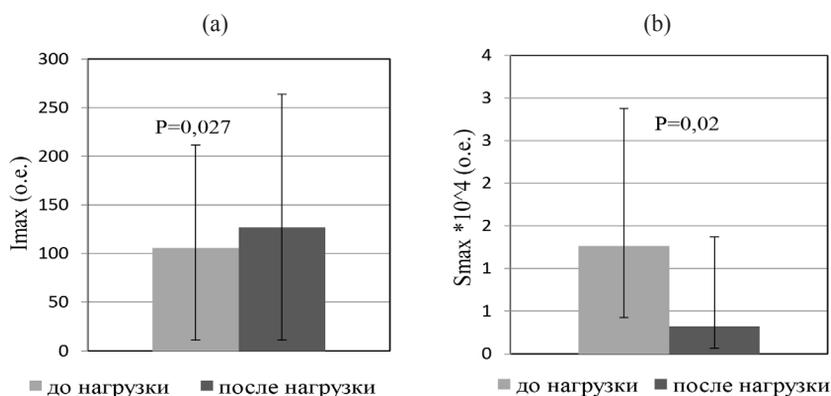


Рис. 10. Показатели I_{max} и S_{max} люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения в присутствии H₂O₂ в слюне (а) и в сыворотке (б) у лошадей при физической нагрузке высокой интенсивности

Оценка антиоксидантных ферментов в сыворотке крови и слюне до и после максимальной нагрузки показала статистически значимое повышение интенсивности люминол-зависимого хемилюминесцентного свечения (в 1,1 и 1,3 раза соответственно) после физических упражнений относительно состояния покоя (рис. 10). Антиоксидантные радикалы продолжают активно вырабатываться.

Заключение

В результате исследования выявлено, что физическая нагрузка высокой интенсивности влияла на изменения систолических и диастолических показателей лошадей. Так, выявлено достоверное повышение амплитуды зубца P ($p=0,0043$) и зубца R ($p=0,0043$), достоверное сокращение интервалов P-Q ($p=0,0043$), TP ($p=0,017$), RR ($p=0,017$) относительно показателей средней интенсивности. Систолический показатель лошадей - зубец P, достоверно повышен ($p=0,004$) для физической нагрузки малой интенсивности относительно показателей средней интенсивности.

Результаты гематологических и биохимических исследований крови показали, что исследуемые параметры находились в диапазоне физиологической нормы как до тренировок, так и после физических нагрузок. Определено, что количество гемоглобина повышалось на большую величину (до 14,0 [11,8; 15,6] г/%) при физической нагрузке малой интенсивности и на меньшую величину (до 13,1 [11,8; 13,8] г/%) – при высокой интенсивности. Количество эритроцитов снижалось с повышением интенсивности физической нагрузки, а количество лейкоцитов, наоборот, возрастало. Выявлено повышение общего белка и снижение концентрации глюкозы с ростом интенсивности физической нагрузки.

Проанализировав действие физической нагрузки разной интенсивности на уровень выработки свободных радикалов у спортивных лошадей можно отметить повышенную активность оксидантной и антиоксидантной ферментативных систем при минимальной и средней нагрузках и антиоксидантной системы при максимальной физической нагрузке. При постепенном повышении физической активности происходит адаптация организма спортивных лошадей к испытываемым физическим нагрузкам и, в результате, не происходит изменения выработки свободных радикалов (прооксидантов и оксидантов).

Таким образом, интенсивные физические нагрузки приводят к нарушению гомеостаза, который поддерживается сбалансированной работой защитных систем организма от оксидативного стресса, в частности, ан-

тиоксидантной, тиолдисульфидной и системой оксида азота. Исследование данных показателей позволит понять механизмы адаптации организма спортивных лошадей к физическим нагрузкам различного объема и интенсивности. Биофизические методы дают возможность для изучения активности оксидантов и антиоксидантов при различных физиологических процессах и могут быть использованы для оценки и корректировки тренировочных программ спортивных лошадей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 19-41-000001.

Список литературы

1. Андрийчук А.В., Ткаченко Г.М., Ткачова И.В. Окислительный стресс у спортивных лошадей украинской верховой и голштинской пород в динамике физических нагрузок // Научный журнал «Известия КГТУ». 2015. №39. С. 97-107. https://klgtu.ru/upload/science/magazine/news_kstu/2015_39/andriychuk.pdf
2. Антонов А.В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у троеборных лошадей в соревновательный период // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 6. С. 47-49. <https://www.agriscience.ru/journal/0131-6397/2010/6/47-49>
3. Бехало В.А., Сысолятина Е.В., Нагурская Е.В. Регуляция врожденного иммунного ответа в очаге хронического воспаления // Иммунология. 2009. №3. С. 184-189.
4. Винник Ю.С., Дунаевская С.С., Портнягин Е.В., Макарская Г.В. Динамика продукции активных форм кислорода лейкоцитов крови у больных острым панкреатитом // Сибирское медицинское обозрение. 2010. №1. С. 35-38.
5. Нестерова И.В., Швыдченко И.Н., Роменская В.А. и др. Нейтрофильные гранулоциты – ключевые клетки иммунной системы // Аллергология и иммунология. 2008. Т. 9, № 4. С. 432-435.
6. Benbarek H., Ayad A., Deby-Dupont G., Boukraa L., Serteyn D. Modulatory effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on the luminol and lucigenin amplified chemiluminescence of equine neutrophils // Vet Res Commun, 2012, no. 36, pp. 29–33. <https://doi.org/10.1007/s11259-011-9507-5>
7. Cornelis M. B., Houterman W., Ploeg M. de Bruijn et al. Monitoring training response in young Friesian dressage horses using two different standardised exercise tests (SETs) // BMC Veterinary Research, 2017, no. 13, pp. 49. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0969-8>

8. Horn R, Bertin FR. Evaluation of combined testing to simultaneously diagnose pituitary pars intermedia dysfunction and insulin dysregulation in horses // *J Vet Intern Med.*, 2019, vol. 33, no. 5, pp. 2249-2256. <https://doi.org/10.1111/jvim.15617>.
9. Ireland JL, McGowan CM. Epidemiology of pituitary pars intermedia dysfunction: A systematic literature review of clinical presentation, disease prevalence and risk factors // *Vet J.*, 2018, no. 235, pp. 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.03.002>
10. Stacy L. A., Baljit S. Equine neutrophils and their role in ischemia reperfusion injury and lung inflammation // *Cell and Tissue Research*, 2018, no. 371, pp. 639–648. <https://doi.org/10.1007/s00441-017-2770-1>
11. Maged R., Sabry A., Mohamed E. Prognostic significance of lipid peroxide and antioxidant levels in draft horses with peritonitis // *Comp ClinPathol*, 2011, no. 20, pp. 433–439. <https://doi.org/10.1007/s00580-010-1013-6>
12. Munsters CC, van Iwaarden A, van Weeren R, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM. Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions // *Vet J.*, 2014, vol. 202, no. 1, pp. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.07.019>
13. McFarlane D, Cribb AE. Systemic and pituitary pars intermedia antioxidant capacity associated with pars intermedia oxidative stress and dysfunction in horses // *Am J Vet Res.*, 2005, vol. 66, no. 12, pp. 2065-2072. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2005.66.2065>
14. Niedźwiedz A, Nicpoń J, Zawadzki M, Służewska-Niedźwiedz M, Januszewska L. The influence of road transport on the activities of glutathione reductase, glutathione peroxidase, and glutathione-S-transferase in equine erythrocytes // *Vet Clin Pathol.*, 2012, vol. 41, no. 1, pp. 123-126. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2011.00396.x>
15. Niedzwiedz A., Kubiak K., Nicpon J. Plasma total antioxidant status in horses after 8-hours of road transportation // *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2013, no. 55, pp. 58. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-58>
16. Padalino B, Raidal SL, Carter N, Celi P, Muscatello G, Jeffcott L, de Silva K. Immunological, clinical, haematological and oxidative responses to long distance transportation in horses // *Res Vet Sci.*, 2017, no. 115, pp. 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.024>
17. Spelta CW. Equine pituitary pars intermedia dysfunction: current perspectives on diagnosis and management // *Vet Med (Auckl).*, 2015, vol. 20, no. 6, pp. 293-300. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S74191>
18. Takahashi T, Kasashima Y, Eto D, Mukai K, Hiraga A. Effect of uphill exercise on equine superficial digital flexor tendon forces at trot and canter // *Equine Vet*

- J Suppl., 2006, no. 36, pp. 435-439. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05583.x>
19. Winkelmayr B, Peham C, Frühwirth B, Licka T, Scheidl M. Evaluation of the force acting on the back of the horse with an English saddle and a side saddle at walk, trot and canter // *Equine Vet J Suppl.*, 2006, no. 36, pp. 406-410. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05577.x>
 20. Żak A, Siwińska N, Chelmecka E, Bazanów B, Romuk E, Adams A, Niedźwiedz A, Stygar D. Effects of Advanced Age, Pituitary Pars Intermedia Dysfunction and Insulin Dysregulation on Serum Antioxidant Markers in Horses // *Antioxidants (Basel)*, 2020, vol. 9, no. 5, 444. <https://doi.org/10.3390/antiox9050444>
 21. Zak A, Siwinska N, Elzinga S, Barker VD, Stefaniak T, Schanbacher BJ, Place NJ, Niedzwiedz A, Adams AA. Effects of advanced age and pituitary pars intermedia dysfunction on components of the acute phase reaction in horses // *Domest Anim Endocrinol.*, 2020, no. 72, 106476. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106476>

References

1. Andriychuk A.V., Tkachenko G.M., Tkachova I.V. Vartovnyk Perekisnay rezistentnost eritrozitov I sodержanie markerov oksislitel'nogo stressa v krovi loshadey yacrainskoy verchovoy porody v dinamike fizicheskikh nagruzok [The resistance of erythrocytes to hydrogen peroxide and oxidative stress markers in the blood of ukrainian warmblood horses during exercises]. *Izvestia KGTU*, 2015, no. 39, pp. 97-107. https://klgtu.ru/upload/science/magazine/news_kstu/2015_39/andriychuk.pdf
2. Antonov A.V. Perecisnoe okislenie lipidov I antioksidantnaya zashita u troebornich loshadey v sorevnovatel'ny period [Lipid peroxidation and antioxidant protection in triathlon horses during competitiveness period]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2010, no. 6, pp. 47-49. <https://www.agriscience.ru/journal/0131-6397/2010/6/47-49>
3. Bekhalo V.A., Sysolyatina E.V., Nagurskaya E.V. Reguliacya vrozdnennogo immunnogo otveta v ochage chronicheskogo vospaleniya [Regulation of innate immune response]. *Immunologiya [Immunology]*, 2009, no. 3, pp. 184-189.
4. Vinnik Yu. S., Dunaevskaya S. S., Portnyagin E.V. Dinamica produkcii aktivnih form kisloroda limfocitami krovi u bolnih ostrim pancreotitom [Production of active oxygen forms by blood lymphocytes in patients with acute pancreatitis]. *Sibirskoe medicinskoe obozrenie [Siberian Medical Review]*, 2010, no. 1, pp. 35-38.
5. Nesterova I.V., Shvidchenko I.N., Romenskaya V.A. at all. Neutrofilnie granulociti – cluchevie kletki immunoy sistemi [Neutrophil granulocytes-key cells

- of the immune system]. *Allergologia i Immunologia [Allergology and Immunology]*, 2008, vol. 9, no. 4, pp. 432-435.
6. Benbarek H., Ayad A., Deby-Dupont G., Boukraa L., Sertejn D. Modulatory effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on the luminol and lucigenin amplified chemiluminescence of equine neutrophils. *Vet Res Commun*, 2012, no. 36, pp. 29–33. <https://doi.org/10.1007/s11259-011-9507-5>
 7. Cornelis M. B., Houterman W., Ploeg M. de Bruijn et al. Monitoring training response in young Friesian dressage horses using two different standardised exercise tests (SETs). *BMC Veterinary Research*, 2017, no. 13, pp. 49. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0969-8>
 8. Horn R, Bertin FR. Evaluation of combined testing to simultaneously diagnose pituitary pars intermedia dysfunction and insulin dysregulation in horses. *J Vet Intern Med.*, 2019, vol. 33, no. 5, pp. 2249-2256. <https://doi.org/10.1111/jvim.15617>
 9. Ireland JL, McGowan CM. Epidemiology of pituitary pars intermedia dysfunction: A systematic literature review of clinical presentation, disease prevalence and risk factors. *Vet J.*, 2018, no. 235, pp. 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.03.002>
 10. Stacy L. A., Baljit S. Equine neutrophils and their role in ischemia reperfusion injury and lung inflammation. *Cell and Tissue Research*, 2018, no. 371, pp. 639–648. <https://doi.org/10.1007/s00441-017-2770-1>
 11. Maged R., Sabry A., Mohamed E. Prognostic significance of lipid peroxide and antioxidant levels in draft horses with peritonitis. *Comp ClinPathol*, 2011, no. 20, pp. 433–439. <https://doi.org/10.1007/s00580-010-1013-6>
 12. Munsters CC, van Iwaarden A, van Weeren R, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM. Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions. *Vet J.*, 2014, vol. 202, no. 1, pp. 11-9. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.07.019>
 13. McFarlane D, Cribb AE. Systemic and pituitary pars intermedia antioxidant capacity associated with pars intermedia oxidative stress and dysfunction in horses. *Am J Vet Res.*, 2005, vol. 66, no. 12, pp. 2065-2072. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2005.66.2065>
 14. Niedźwiedz A, Nicpoń J, Zawadzki M, Służewska-Niedźwiedz M, Januszewska L. The influence of road transport on the activities of glutathione reductase, glutathione peroxidase, and glutathione-S-transferase in equine erythrocytes. *Vet Clin Pathol.*, 2012, vol. 41, no. 1, pp. 123-126. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2011.00396.x>
 15. Niedzwiedz A., Kubiak K., Nicpon J. Plasma total antioxidant status in horses after 8-hours of road transportation. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2013, no. 55, pp. 58. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-58>

16. Padalino B, Raidal SL, Carter N, Celi P, Muscatello G, Jeffcott L, de Silva K. Immunological, clinical, haematological and oxidative responses to long distance transportation in horses. *Res Vet Sci.*, 2017, no. 115, pp. 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.024>
17. Spelta CW. Equine pituitary pars intermedia dysfunction: current perspectives on diagnosis and management. *Vet Med (Auckl)*, 2015, vol. 20, no. 6, pp. 293-300. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S74191>
18. Takahashi T, Kasashima Y, Eto D, Mukai K, Hiraga A. Effect of uphill exercise on equine superficial digital flexor tendon forces at trot and canter. *Equine Vet J Suppl.*, 2006, no. 36, pp. 435-439. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05583.x>
19. Winkelmayr B, Peham C, Frühwirth B, Licka T, Scheidl M. Evaluation of the force acting on the back of the horse with an English saddle and a side saddle at walk, trot and canter. *Equine Vet J Suppl.*, 2006, no. 36, pp. 406-410. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05577.x>
20. Żak A, Siwińska N, Chelmecka E, Bazanów B, Romuk E, Adams A, Niedzwiedz A, Stygar D. Effects of Advanced Age, Pituitary Pars Intermedia Dysfunction and Insulin Dysregulation on Serum Antioxidant Markers in Horses. *Antioxidants (Basel)*, 2020, vol. 9, no. 5, 444. <https://doi.org/10.3390/antiox9050444>
21. Zak A, Siwinska N, Elzinga S, Barker VD, Stefaniak T, Schanbacher BJ, Place NJ, Niedzwiedz A, Adams AA. Effects of advanced age and pituitary pars intermedia dysfunction on components of the acute phase reaction in horses. *Domest Anim Endocrinol.*, 2020, no. 72, 106476. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106476>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Коленчукова Оксана Александровна, д.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточной физиологии и патологии *ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» - обособленное подразделение Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера*
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
Kalina-chyikova@mail.ru

Степанова Людмила Васильевна, к.б.н., доцент кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии *ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»*

*пр. Свободный, 79, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация
slyudmila@mail.ru*

Федотова Арина Сергеевна, к.б.н., доцент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных

*ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
пр. Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация
krasfas@mail.ru*

Коломейцев Александр Владимирович, к.б.н., доцент, начальник управления науки и инноваций

*ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
пр. Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация
avk@mail.ru*

Макаров Андрей Витальевич, к.б.н., инженер-микробиолог, Научно-исследовательский испытательный центр

*ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
пр. Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация
andmak83@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oksana A. Kolenchukova, Dr. Sc. (Biology), Professor

*Scientific Research Institute of Medical Problems of the North FRC KSC
SB Russian academy of Sciences*

*3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
SPIN-code: 8008-5580*

ORCID: 0000-0001-9552-447X

Kalina-chyikova@mail.ru

Lyudmila V. Stepanova, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof.

Siberian Federal University

*79, Svobodnii Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
slyudmila@mail.ru*

SPIN-code: 7940-6589

ORCID: 0000-0001-5503-4898

ResearcherID: K-4146-2017

Arina S. Fedotova, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Internal Non-contagious Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals
Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
krasfas@mail.ru
SPIN-code: 3894-1792
ORCID: 0000-0003-1630-2444
ResearcherID: AAO-4090-2021
Scopus Author ID: 57211158525

Alexander V. Kolomeytsev, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Head of Science and Innovation Department
Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
avk@mail.ru
ResearcherID: N-8808-2017

Andrey V. Makarov, Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Microbiologist Engineer
Scientific Research and Testing Center
Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
andmak83@yandex.ru
SPIN-code: 3736-6038
ORCID: 0000-0002-2593-207x
ResearcherID: AAN-7051-2021

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

BIOLOGICAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-158-169

УДК 615.847.8.03:617.741/015.4.076.9

ВЛИЯНИЕ СВЕТОВОЙ ДЕСИНХРОНИЗАЦИИ НА СТРЕСС-ИНДУЦИРУЮЩИЕ И СТРЕСС-БЛОКИРУЮЩИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ У СТАРЫХ МЫШЕЙ

П.А. Зульфугарова

Цель. Исследование механизмов формирования изменений глюкокортикоидной рецепции (в эксперименте на белых беспородных мышцах старого возраста) под влиянием световой десинхронизации.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования были белые беспородные мыши ($n=246$), средний возраст которых составил около 19 месяцев. Световую десинхронизацию моделировали путем изменения режима освещения (комбинация естественного и искусственного освещения) в течение 23 дней. В определённые дни после начала десинхронизации проводили взятие проб крови, в которых с помощью иммуноферментного анализатора «Multiskan GO» определяли уровень плазменного кортизола. Радиоиммунологическим методом выявляли комплексы антиген-антитело, в котором один из иммунореагентов был мечен изотопом. Результаты анализировались для выявления сходства или различий (применяли двухвыборочный тест Стьюдента, с оценкой достоверности различий при $p<0,05$).

Результаты исследования и обсуждение. Результаты анализа уровня экспрессии глюкокортикоидных рецепторов II типа (относится к стресс-индуцирующим факторам) и уровня экспрессии глюкокортикоидных рецепторов III типа (стресс-блокирующий фактор) в различные сроки после проведения световой десинхронизации указывали на патологическое снижение адаптационных способностей. У старых мышей это выражалось в увеличении количества стресс-индуцирующих факторов и неадекватным уменьшении син-

теза стресс-блокирующих факторов. Вероятно, у старых мышей в ответ на стрессовые стимулы происходит ослабление протекторных механизмов их организма. Полученные данные не противоречат общепринятым концепциям, которые толкуют роль глюкокортикоидной системы в системе протекторных механизмов организма. Однако, известно, что помимо глюкокортикоидных и антиглюкокортикоидных механизмов имеются и прочие звенья, которые реагируют при световой десинхронизации (уровень цитокинов, эндогенных опиоидов, серотонина и др.). В этом контексте мы запланировали продолжить исследования с большим количеством животных и наряду с изучением при световой десинхронизации глюкокортикоидной рецепции, также провести комплексный анализ показателей иммунного и нейромедиаторного статуса.

Заключение. *Исследования влияния световой десинхронизации на стресс-индуцирующие и стресс-блокирующие физиологические механизмы у старых мышей выявили высокую степень стрессовой реакции у них на этот раздражитель. Эти сведения могут быть очень полезны в медицине и биологии. Вместе с тем, для более надёжных выводов необходимо продолжить исследования на ещё большем количестве животных (в том числе молодого возраста) и изучить наряду с глюкокортикоидами показатели иммунного и нейромедиаторного статуса.*

Ключевые слова: *световая десинхронизация; глюкокортикоидный рецептор; секреция кортизола; адаптация; возрастная реакция*

Для цитирования. *Зульфугарова П.А. Влияние световой десинхронизации на стресс-индуцирующие и стресс-блокирующие физиологические механизмы у старых мышей // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 158-169. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-158-169*

EFFECT OF LIGHT DESYNCHRONIZATION ON STRESS-INDUCING AND STRESS-BLOCKING PHYSIOLOGICAL MECHANISMS IN AGED MICE

P.A. Zulfugarova

Purpose. *Investigation of the mechanisms of formation of changes in glucocorticoid reception (in an experiment on white outbred mice of old age) under the influence of light desynchronization.*

Materials and methods. *The objects of the study were white outbred mice (n = 246), the average age of which was about 19 months. Light desynchronization was simulated by changing the lighting mode (a combination of natural and artificial lighting) for 23*

days. On certain days after the onset of desynchronization, blood samples were taken, in which the plasma cortisol level was determined using the Multiskan GO enzyme immunoassay analyzer. The radioimmunological method was used to detect antigen-antibody complexes in which one of the immunoreagents was labeled with a radioactive isotope. The results were analyzed to identify similarities or differences (a two-sample Student's *t* test was used, with an assessment of the significance of differences at $p < 0.05$).

Results and discussion. The results of analysis of the expression level of type II glucocorticoid receptors (referred to as stress-inducing factors) and the expression level of type III glucocorticoid receptors (stress-blocking factor) at various times after light desynchronization indicated a pathological decrease in adaptive abilities. In old mice, this was expressed in an increase in the number of stress-inducing factors and an inadequate decrease in the synthesis of stress-blocking factors. Probably, in old mice, in response to stressful stimuli, the protective mechanisms of their organism are weakened. The data obtained do not contradict the generally accepted concepts that interpret the role of the glucocorticoid system in the system of protective mechanisms of the body. However, it is known that in addition to glucocorticoid and antiglucocorticoid mechanisms, there are other links that react during light desynchronization (the level of cytokines, endogenous opioids, serotonin, etc.). In this context, we planned to continue studies on even more animals and, along with the study of glucocorticoid reception during light desynchronization, also to carry out a comprehensive analysis of indicators of the immune and neurotransmitter status.

Conclusion. Studies of the effect of light desynchronization on stress-inducing and stress-blocking physiological mechanisms in old mice revealed a high degree of stress response in them to this stimulus. This information can be very useful in medicine and biology. At the same time, for more reliable conclusions, it is necessary to continue studies on even more animals (including young ones) and to study, along with glucocorticoids, indicators of the immune and neurotransmitter status.

Keywords: light desynchronization; glucocorticoid receptor; cortisol secretion; adaptation; age response

For citation. Zulfugarova P.A. Effect of light desynchronization on stress-inducing and stress-blocking physiological mechanisms in aged mice. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 158-169. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-158-169

Введение

Известно, что регуляторные механизмы организма имеют выраженные биологические ритмы. Многолетние исследования показали, что изучение возможных признаков разлада биологических ритмов совер-

шенно необходимо для правильной диагностики и лечения различных возраст-ассоциированных заболеваний [1, 2]. Наши собственные исследования показывали, что содержание животных в течении недели в условиях нарушения режима естественного фотопериодизма существенно изменяет дневной ритм, свойственный глюкозному гомеостазу в крови [7]. Есть подозрения, что световая десинхронизация может вызывать не только лишь физиологические, но и психо-эмоциональные расстройства у здоровых людей и стать причиной развития преждевременного старения всего организма. В данном контексте ощущается недостаток информации о нейро-иммуно-эндокринных изменениях, которые сопровождают световую десинхронизацию. Однако, имеются сведения, что иммунодефицитное состояние, вызванное световой десинхронизацией, может быть обусловлено не только дефицитом иммунной системы (истинный иммунодефицит), но и глюкокортикоидной иммуносупрессией [3, 8, 11]. При этом оценка глюкокортикоидной иммуносупрессии должна проводиться по комплексному влиянию глюкокортикоидных и антиглюкокортикоидных механизмов на иммунитет. С учётом представленных данных мы сочли целесообразным изучить влияние световой десинхронизации на нейроэндокринную регуляцию физиологических процессов старения путем оценки механизмов формирования изменений глюкокортикоидной рецепции в эксперименте.

Цель работы

Конкретной целью нашего исследования был анализ влияния световой десинхронизации на стресс-индуцирующие и стресс-блокирующие физиологические механизмы у старых мышей.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили на белых беспородных нелинейных мышах массой $21,5 \pm 0,4$ г. (масса определялась с помощью лабораторных весов Sartorius ED423S-RCE). Мыши были получены из вивария Института Физиологии им. А.И. Караева Национальной Академии Наук Азербайджана. Средний возраст особей ($n=246$) составлял $19,1 \pm 0,01$ месяцев. Световой день составлял 12 часов, пища и жидкость принимались животными *adlibitum*. Содержание животных, проведение манипуляций и тестирование полученных данных проводились в соответствии с российскими стандартами (ISO 10993-1-2003 и ГОСТ Р ИСО 10993.2-2006). Опыты проводили в течение 23 дней. Световую десинхронизацию моделировали путем изменения режима освещения в лаборатории. Подопытные мыши

подвергались воздействию комбинации естественного и искусственного (12 часов в ночное время) освещения, обеспечиваемого лампой дневного света (мощность 60Вт). Взятие проб (образцы крови) осуществляли к концу 1-ых, 12-ых и 23-их суток после начала световой десинхронизации. За 5 минут до проведения манипуляций (взятия проб) животным вводили внутримышечно комбинацию Телазола (Zoetis Inc, USA) в дозе 0,1 мл/кг и Ксиланита (Нита-Фарм, Россия) в дозе 0,1 мг/кг для достижения наркоза.

Исследования стресс-индуцирующей системы включали определение уровня плазменного кортизола (с помощью иммуноферментного анализатора «Multiskan GO», Финляндия), а также «истинных» глюкокортикоидных рецепторов II типа (сокр. ГКР II), реализующих эффект кортизола (радиоиммунный метод). Оценка стресс-блокирующих механизмов иммунокомпетентных клеток включала исследование активности глюкокортикоидных рецепторов III типа (сокр. ГКР III), ингибирующих эффект кортизола. Использовались следующие реагенты и сыворотки: 96 микротитрационных ячеек (12 стрипов); кортизол-антисыворотка (содержит кроличью антикортизоловую сыворотку в протеиновом (BSA) буфере с нертутным консервантом); кортизол-стандарты (содержит 0 мкг/дл кортизола); кортизол в протеиновом буфере (BSA) с нертутным консервантом в концентрациях 0,5, 1,5, 4,0, 10,0, 20,0 и 60,0 мкг/дл; кортизол-контроль с уровнями I и II (кортизол низкой и высокой концентрации в протеиновом буфере сыворотки с нертутным консервантом); кортизол-энзимный конъюгатный концентрат (содержит раствор кортизола в протеиновом буфере с нертутным консервантом, который перед исследованием разводят конъюгатным растворителем); конъюгатный растворитель (содержит протеиновый буфер с нертутным консервантом); ТМБ-хромогенный раствор (содержит раствор тетраметилбензидина в цитратном буфере с водорода пероксидом); моющий концентрат (содержит буферные соли с неионным детергентом, который разводили в 10 объемах бидистиллированной воды); стоп-раствор (содержит 0,2М раствор серной кислоты); бидистиллированная вода; изотоп йода (^{125}I). С помощью радиоиммунологического анализа выявляли комплекс антиген-антитело, в котором один из иммунореагентов был мечен радиоактивным изотопом. Учет реакции проводился по возрастанию радиоактивности с помощью специальных счетчиков гамма-излучения.

Для установления сходства или различий между исследуемыми группами проверяли гипотезу о различии средних с использованием двухвыборочного t-критерия Стьюдента [4], с оценкой достоверности различий по значениям $M \pm m$ при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Прежде чем перейти к изложению данных по нашим опытам, отметим, что мы измеряли у животных уровень изучаемых биохимических фракций до начала проведения световой десинхронизации. Эти показатели были приняты нами за контрольную точку. Таким образом, для кортизола контрольный показатель составил в среднем $215,3 \pm 1,7$ нмоль/л (нижний порог нормы), показатель ГКР II – $11,4 \pm 0,2$ (условных единиц – у.е.) и показатель ГКР III – $11,1 \pm 0,1$ у.е. После проведения десинхронизации указанные показатели на всех этапах уже были выше приведённых значений, но при этом обнаружили определённую зависимость от продолжительности опытов. Полностью результаты наших исследований представлены в нижеприводимой таблице 1, где оценивается уровень различий по средним показателям (между данными полученными до начала проведения световой десинхронизации и данными, полученными на 1-е сутки, 12-е сутки и 23-е сутки).

Таблица 1.

Динамика уровня стресс-индуцирующих и стресс-блокирующих механизмов у мышей старого возраста

Показатель	Старые мыши (n=246; 82x3)			
	До проведения световой десинхронизации	1-е сутки после проведения световой десинхронизации	12-е сутки после проведения световой десинхронизации	23-е сутки после проведения световой десинхронизации
Уровень кортизола (нмоль /л)	$215,3 \pm 1,7$	$345,4 \pm 1,1^*$	$387,3 \pm 1,1^*$	$335,7 \pm 1,7^*$
Уровень экспрессии ГКР-II (у.е.)	$11,4 \pm 0,2$	$23,4 \pm 0,3^*$	$27,1 \pm 1,1^*$	$24,8 \pm 1,1^*$
Уровень экспрессии ГКР-III (у.е.)	$11,1 \pm 0,1$	$23,9 \pm 0,2^*$	$29,0 \pm 0,1^*$	$9,1 \pm 0,2^*$
Соотношение уровней экспрессии ГКР-3/ГКР-2 (у.е.)	$0,97 \pm 0,01$	$1,02 \pm 0,01$	$1,07 \pm 0,01$	$0,36 \pm 0,01$

* – $p < 0,05$

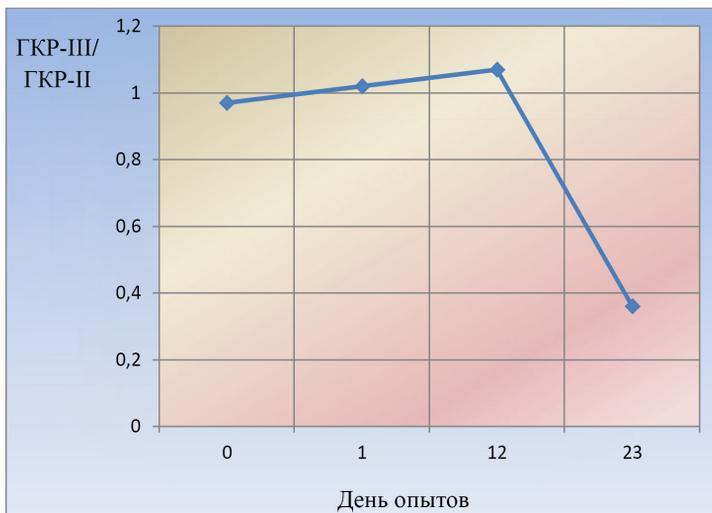
Как видно из таблицы уровень экспрессии ГКР-II, который относится к стресс-индуцирующим факторам, и уровень экспрессии ГКР-III (стресс-блокирующий фактор) на 1-ые и на 12-е сутки после проведения световой

десинхронизации возрастают и меняются при этом почти одинаково. То же самое мы наблюдаем для экспрессии кортизола. Однако, заметно сильное повышение показателей в первый день по сравнению с 12-ым. На 23-ые сутки после проведения световой десинхронизации показатели возвращаются к уровням, которые близки к цифрам характерным для первого дня после начала опытов. Но касательно ГКР-III этого не наблюдается и его показатели падают даже ниже значений зафиксированных до начала опытов. Такое падение уровня стресс-блокирующего фактора видимо указывает на неадекватную реакцию механизмов адаптации в ответ на световую десинхронизацию. Судя по всему, происходит истощение ресурсов ответственных за анти-глюкокортикоидную систему защиты.

Для проверки такого заключения мы проанализировали показатель соотношения стресс-блокирующих и стресс-индуцирующих факторов. До начала наших опытов среднее значение этого показателя составило $0,97 \pm 0,01$. То есть значения близкие к 1,0 можно условно принимать как референсные значения нормального функционирования соответствующих адаптационных механизмов организма. Данные об этом показателе и его динамике в ходе опытов наглядно демонстрирует график ниже.

График 1.

График соотношения показателей стресс-блокирующих и стресс-индуцирующих факторов в ходе опытов по световой десинхронизации



Видно, что после проведения световой десинхронизации соотношение уровня экспрессии ГКР-III/ГКР-II постепенно возрастает (достигая 1,02у.е., а затем 1,07у.е.), что отражает развитие стресс-напряжения в организме в ответ на стресс-индуцирующие факторы. Баланс близкий к единице указывает на то, что в этот период (до 12 дней) адаптационные резервы организма ещё не позволяют развиваться патологическому поражению протекторных механизмов организма. Тем не менее, недостаточная физиологическая реакция в ответ на стрессовую ситуацию здесь уже обнаруживается. Интересным оказался показатель соотношения к 23-м суткам после воздействия световой десинхронизации, который составил всего 0,36у.е. Уровень ГКР-III при этом упал даже ниже референсного значения, хотя показатели ГКР-II оставались довольно высокими, обнаруживая незначительное снижение. То есть можно сказать, что в данном случае в ответ на продолжительное высокое повышение стресс-индуцирующих факторов у мышей старого возраста происходит хроническое уменьшение адекватного синтеза стресс-блокирующих факторов, приводящее к патологическому состоянию протекторных механизмов их организма и снижению адаптационных способностей.

Обсуждение

Результаты исследования показали, что у старых мышей наблюдается высокая степень стрессовой реакции на влияние световой десинхронизации и это проявляется увеличением количества стресс-индуцирующих факторов и неадекватным уменьшением синтеза стресс-блокирующих факторов. Отметим, что мы постоянно проводим эксперименты по изучению механизмов разлада биологических ритмов. В одном из опытов (неопубликованные данные) с меньшим количеством животных, но представленных двумя возрастными группами, мы выявили, что у молодых мышей физиологическая способность к адаптации организма к стрессовым стимулам более надёжна, чем у старых мышей. Поэтому мы провели несколько развёрнутое исследование, которое на наш взгляд объективно отражает патологическое снижение адаптационных способностей организма старых мышей на стрессовые стимулы, которым в нашем случае является световая десинхронизация. Ранее зависимость баланса стресс-реализующих и стресс-протективных механизмов от гериатрического статуса была замечена Л.Н. Литвиновой [5], которая проводила клинические исследования (как и в нашем опыте, изучался обмен кортизола) последствий операционного стресса у пожилых пациентов. В частности автор

установила, что у пожилых пациентов (в отличие от больных среднего возраста) после оперативного вмешательства чаще наблюдается дисбаланс стресс-реализующих и стресс-протективных систем организма в сторону повышения активности повреждающей стресс-реализующей системы, и это в конечном итоге проявляется иммунодепрессией. Смещение баланса ГКР-III/ГКР-II в сторону усиления активности повреждающей стресс-реализующей системы у пожилых людей по сравнению с молодыми отмечал также И.И. Зарадей [6], который изучал соответствующие показатели при решении вопросов, связанных с оптимизацией анестезий. В целом же оценке глюкокортикоидной иммуносупрессии, изучению комплексного влияния глюкокортикоидных и антиглюкокортикоидных механизмов на иммунитет посвящено немало работ [10, 12, 13]. Полученные нами сведения не противоречат этим данным, а также общепринятым концепциям, которые толкуют роль глюкокортикоидной системы в системе протекторных механизмов организма.

Однако, влияние световой десинхронизации на нейроэндокринную регуляцию физиологии организма многогранный процесс [9]. Помимо глюкокортикоидных и антиглюкокортикоидных механизмов имеются и прочие звенья, которые реагируют при световой десинхронизации (например, уровень провоспалительных цитокинов, эндогенных опиоидов, серотонина и др.). В этом контексте, для получения надёжных результатов мы планируем провести развёрнутое исследование на большом количестве животных, чтобы сравнить влияние световой десинхронизации на стресс-индуцирующие и стресс-блокирующие физиологические механизмы у мышей молодого и старого возраста. Для полноценной картины итогов такого эксперимента необходимо будет наряду с изучением изменений глюкокортикоидной рецепции при световой десинхронизации, также параллельно провести при этом комплексный анализ показателей иммунного и нейромедиаторного статуса.

Заключение

Исследования влияния световой десинхронизации на стресс-индуцирующие и стресс-блокирующие физиологические механизмы у старых мышей выявили высокую степень стрессовой реакции у них на этот раздражитель. В целом наблюдается ослабление протекторных механизмов организма животных и снижение их адаптационных способностей, которое сопряжено с хроническим уменьшением адекватного синтеза стресс-блокирующих факторов (фиксируемое через изменения показате-

лей глюкокортикоидной рецепции). Однако, для более достоверных заключений необходимы дополнительные исследования на большом количестве животных с изучением наряду с глюкокортикоидами показателей иммунного и нейромедиаторного статуса.

Финансирование работы осуществлялось за счёт средств на балансе Института Физиологии им. А.И. Караева Национальной Академии Наук Азербайджана (государственное финансирование).

При выполнении работы соблюдались все рекомендации по этическим стандартам специального комитета Института Физиологии им. А.И. Караева Национальной Академии Наук Азербайджана.

Список литературы

1. Ашофф Ю.М. Биологические ритмы. Москва: Мир, 1984. 414 с.
2. Виноградова И.А. Влияние светового режима, мелатонина и эпиталона на биомаркеры старения, возрастную патологию и продолжительность жизни. Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук, Санкт-Петербург, 2009. 43 с.
3. Диатроптов М.Е. Морфофункциональные параметры эндокринной и иммунной системы и пролиферативная активность эпителия в инфрадианном диапазоне биоритмов. Дисс. ... д-ра биол. наук, Москва, 2015. 263 с.
4. Гланц, С.А. Медико-биологическая статистика. Москва: Практика, 1999, 459 с.
5. Литвинова Л.Н. Нейрогуморальные особенности операционного стресса при синдроме старческой астении. Дисс. ... канд. мед. наук, Москва, 2018. 147 с.
6. Зарадей И.И. Нейроиммуноэндокринные механизмы операционного стресса у людей пожилого возраста с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук, Санкт-Петербург, 2010. 28 с.
7. Зульфугарова П.А. Влияние фотопериодического фактора на динамику глюкозы в крови // Материалы IV Международной конференции, Баку, 2014, с. 133-135.
8. Сапронов Н.С. Гормоны гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы. Санкт-Петербург: Наука, 2005, 216 с.
9. De Kloet E.R., Joels M., Holsboer F. Stress and the brain: from adaptation to disease // Nature reviews neuroscience, 2005, vol. 6, no. 6, pp. 463-475. <https://doi.org/10.1038/nrn1683>
10. De Rijk R.H., Wust S., Meijer O.C. et al. A common polymorphism in the mineralocorticoid receptor modulates stress-responsiveness // The Journal of

- Clinical Endocrinology and Metabolism, 2006, vol. 91, no. 12, pp. 5083-5089. <https://doi.org/10.1210/jc.2006-0915>
11. Habib K.E., Cold P.W., Chrousos G.P. Neuroendocrinology of stress // Endocrinology and Metabolism Clinics of North America, 2001, vol. 30, no. 3, pp. 695-728. [https://doi.org/10.1016/s0889-8529\(05\)70208-5](https://doi.org/10.1016/s0889-8529(05)70208-5)
 12. River C., Crigoriadis D., River I. Role adrenocorticotropin–realizing factor receptors type 1 and 2 in modulating the rat adrenocorticotropin response to stress // Endocrinology, 2003, vol. 144, no. 6, pp. 2396-2403.
 13. Wellhoener P., Born J., Fehm H.L. et al. Elevated resting and exercise-induced cortisol levels after mineralocorticoid receptor blockade with canrenoate in healthy humans // The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 2004, vol. 89, no. 10, pp. 5048–5052.

References

1. Ashoff Yu.M. Biologicheskie ritmy [Biological rhythms]. Moscow: Mir, 1984, 414 p.
2. Vinogradova I.A. Vliyanie svetovogo rejima, melatonina i epitalona na biomarkery stareniya, vozrastnuyu patologiyu i prodolzhitel'nost' zhizni [Influence of light regime, melatonin and epitalon on biomarkers of aging, age-related pathology and life expectancy]. Doctoral Thesis Abstract. St. Petersburg, 2009, 43 p.
3. Diatroptov M.E. Morfofunktsional'nye parametry endokrinnoy i immunoy sistemy i proliferativnaya aktivnost epiteliya v infradiannom diapazone bioritmov. Diss. ...doct.biol.nauk [Morphofunctional parameters of the endocrine and immune systems and proliferative activity of the epithelium in the infradian range of biorhythms]. Doctoral Thesis Abstract. Moscow, 2015, 263 p.
4. Glants S.A. Mediko-biologicheskaya statistika [Biomedical statistics]. Moscow: Praktika, 1999, 459 p.
5. Litvinova L.N. Neyrogumoral'niye osobennosti operatsionnogo stressa pri syndrome starcheskooy astenii. Diss. ...kand.med.nauk [Neurohumoral features of operational stress in senile asthenia syndrome]. PhD dissertation abstract. Moscow, 2018, 147 p.
6. Zaradey I.I. Neyroimmunoendokrinnye mekhanizmy operatsionnogo stressa u lyudey pozhilogo vozrasta s serdechno-sosudistymi zabolevaniyami. Avto-ref. diss. ...kand.med.nauk [Neuroimmunoendocrine mechanisms of operational stress in elderly people with cardiovascular diseases]. PhD dissertation abstract. St. Petersburg, 2010, 28 p.
7. Zulfugarova P.A. Vliyanie fotoperiodicheskogo faktora na dinamiku glyukozy v krovi // Materialy IV Mezhdunarodnoy konferencii [The influence of the pho-

- toperiodic factor on the dynamics of glucose in the blood: Proceedings of IV International conference]. Baku, 2014, p. 133-135.
8. Saponov N.S. Gormony gipotalamo-gipofizarno-nadpochechnikovoy systemy [Hormones of the hypothalamic-pituitary-adrenal system]. St. Petersburg: Nauka, 2005, 216 p.
 9. De Kloet E.R., Joels M., Holsboer F. Stress and the brain: from adaptation to disease. Nature reviews neuroscience, 2005, vol. 6, no. 6, pp. 463-475. <https://doi.org/10.1038/nrn1683>
 10. De Rijk R.H., Wust S., Meijer O.C. et al. A common polymorphism in the mineralocorticoid receptor modulates stress-responsiveness. The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 2006, vol. 91, no. 12, pp. 5083-5089. <https://doi.org/10.1210/jc.2006-0915>
 11. Habib K.E., Cold P.W., Chrousos G.P. Neuroendocrinology of stress. Endocrinology and Metabolism Clinics of North America, 2001, vol. 30, no. 3, pp. 695-728. [https://doi.org/10.1016/s0889-8529\(05\)70208-5](https://doi.org/10.1016/s0889-8529(05)70208-5)
 12. River C., Crigoriadis D., River I. Role adrenocorticotropin-realizing factor receptors type 1 and 2 in modulating the rat adrenocorticotropin response to stress // Endocrinology, 2003, vol. 144, no. 6, pp. 2396-2403.
 13. Wellhoener P., Born J., Fehm H.L. et al. Elevated resting and exercise-induced cortisol levels after mineralocorticoid receptor blockade with canrenoate in healthy humans // The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 2004, vol. 89, no. 10, pp. 5048–5052.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Зульфугарова Парвин Асад кызы, канд. биол. наук, преподаватель кафедры зоологии и физиологии
Бакинский Государственный Университет
ул. Академика З. Халилова, 23, г. Баку, AZ1148, Республика Азербайджан
aylamalak1982@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHOR

Zulfugarova Parvin Asad, PhD in Biology, Lecturer at the Department of Zoology and Physiology
Baku State University
Academician Z. Khalilov Str., Baku, AZ1148, Republic of Azerbaijan
aylamalak1982@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5619-4316

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192

УДК 611.18-007.253:519.87

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ УРАВНЕНИЙ MURRAY C.D. ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСУДИСТЫХ ДИХОТОМИЙ ПОЧКИ ЧЕЛОВЕКА

О.К. Зенин, И.С. Милтых, А.В. Дмитриев, О.О. Юрченко

Цель. Провести анализ применимости уравнений Murray C.D. для расчёта значений углов дихотомий внутриорганного артериального и венозного русел почки человека.

Материал и методы. Были исследованы внутриорганные артерии и вены почек. Почки получены на аутопсии у людей (возраст от 36 до 74 лет; 9 человек мужского пола, 8 – женского), изготовлены 17 коррозионных препаратов: 9 препаратов артериальное русло, 8 – венозное. Визуализацию проводили с помощью микротомографа BRUNKER SkyScan 1178. Для морфометрии использовали программный пакет blender с надстройкой NeuroMorph Measuring tools. Измеряли диаметры сегментов (D , d_{max} , d_{min}) и углы между ними (α_{max} , α_{min}). Для расчетов углов дихотомии пользовались уравнениями Murray C.D.

Результаты. Установлено наличие четырех структурно-различных типов дихотомий, составляющих внутриорганное сосудистое русло почки. Показано, что применять уравнение Murray C.D. для расчетов величины угла α_{max} можно для любых структурно-различных типов сосудистых дихотомий почки человека. Однако использовать уравнение Murray C.D. для расчетов значений угла α_{min} нельзя для артериальных и венозных дихотомий 1-го структурно-различного типа и для 2-го типа венозных дихотомий.

Заключение. Применение уравнений Murray C.D. для численного моделирования сосудистых дихотомий почки человека носит ограниченный характер. Это необходимо учитывать при создании структурных математических моделей сосудистого русла почки человека.

Ключевые слова: внутриорганное сосудистое русло почки; сосудистая дихотомия; угол ветвления; внутренний диаметр сосуда

Для цитирования. Зенин О.К., Милтых И.С., Дмитриев А.В., Юрченко О.О. Морфометрический анализ применимости уравнений Murray C.D. для

численного моделирования сосудистых дихотомий почки человека // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 170-192. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF C.D. MURRAY'S LAW APPLIANCE FOR NUMERICAL MODELING OF VASCULAR DICHOTOMIES OF KIDNEYS

O.K. Zenin, I.S. Miltykh, A.V. Dmitriev, O.O. Iurchenko

Aim. To analyze the possibility of using Murray C. D. equations for calculating the angles of dichotomies of the intraorgan arterial and venous beds of the human kidney.

Material and methods. Intraorgan arteries and veins of the kidneys were examined, obtained at autopsy of humans (age from 36 to 74 years; 9 males, 8 females), 17 corrosive preparations were made: 9 preparations of the arterial bed, 8 – venous. Visualization was created using a BRUNKER SkyScan 1178 microtomograph. For morphometry, the blender software package with the NeuroMorph Measuring tools was used. The diameters of the segments (D , d_{max} , d_{min}) and the angles between them (α_{max} , α_{min}) were measured. To calculate the angles of dichotomy, we used the equations of Murray C. D.

Results. The presence of four structurally different types of dichotomies that make up the intraorgan vascular bed of the kidney was established. It is shown that the Murray C. D. equation can be used to calculate the value of the angle α_{max} for any structurally different types of vascular dichotomies of the human kidney. However, the Murray C. D. equation cannot be used to calculate the values of the angle α_{min} for arterial and venous dichotomies of the 1st structurally different type and for the 2nd type of venous dichotomies.

Conclusion. Application of Murray C. D. equations for numerical modeling of vascular dichotomies of the human kidney is limited. This must be considered when creating structural mathematical models of the vascular bed of the human kidney.

Keywords: intraorgan kidney vascular bed, vascular dichotomy, branching angle, inner vessel diameter

For citation. Zenin O.K., Miltykh I.S., Dmitriev A.V., Iurchenko O.O. Morphometric analysis of C.D. Murray's law appliance for numerical modeling of vascular dichotomies of kidneys. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 170-192. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192

Список сокращений:

ВСРП – внутриорганный сосудистый русло почки, D – диаметр проксимального сегмента; d_{max} – диаметр дистального сегмента с большим диаметром; d_{min} – диаметр дистального сегмента с меньшим диаметром; ξ – значение степени из уравнения $D^\xi = d_{max}^\xi + d_{min}^\xi$; η – (area ratio) – коэффициент ветвления; α_{max} – угол отхождения большего дистального сегмента от проксимального; α_{min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального; ОДМ – оптимальные дихотомии в соответствии с критерием С.Д. Муррей; НДМ – неоптимальные дихотомии в соответствии с критерием С.Д. Муррей; ОДУ – оптимальные дихотомии в соответствии с критерием Н.В.М. Улинга; НДУ – неоптимальные дихотомии в соответствии с критерием Н.В.М. Улинга.

В 1926 году английский физиолог Муррей С.Д., основываясь на так называемых «Правилах Ру» предложил уравнения [7, 32], которые позволяют рассчитать величины углов артериальной дихотомии, зная значения внутренних диаметров артерий, которые ее образуют [25]. С этого момента в среде анатомов и врачей не прекращается дискуссия о возможности практического использования этих уравнений в качестве морфометрического эталона сосудистых русел внутренних органов здорового человека и для численного моделирования структуры русла как фрактальной системы.

В ряде работ приведены факты хорошего согласования реальных углов ветвления артерий и углов, рассчитанных с использованием уравнений Муррей С.Д. [4, 22, 24]. Есть работы, которые как подтверждают [9, 11], так и опровергают положение теории (Муррей's law) результатам морфометрии реальных артериальных русел [15, 19, 20, 23, 29, 30, 34]. Авторы некоторых работ используют данное правило для численного моделирования структуры артериальных русел [10, 27, 28]. Более того, на основании этого моделирования делаются выводы о внутриартериальной гемодинамике жизненно важных органов человека [12, 17].

Однако анализ литературных источников показал, что работ, посвященных собственно исследованию фактического материала – морфометрии реальных артериальных и венозных дихотомий – не так много и представленные результаты противоречивы. Например, нельзя использовать уравнения Муррей С.Д. для расчетов углов дихотомий, образованных сосудами с внутренним диаметром менее 100 мкм [2]. Кроме того, артериальное русло почки человека состоит из структурно-различных типов дихотомий [3]. Анализ возможности использования уравнений Муррей С.Д. для чис-

ленного моделирования углов дихотомий венозного русла почки человека вообще не проводился.

Цель работы: провести анализ применимости уравнений Murgay C.D. для расчёта значений углов дихотомий внутриорганного артериального и венозного русел почки человека.

Материалы и методы

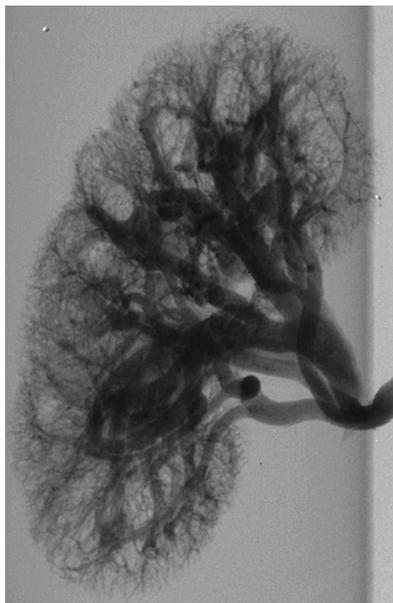
Были исследованы внутриорганные сосудистые русла почек (ВСРП) (артерии и вены), визуализированные на аутопсии у людей (возраст от 36 до 74 лет; 9 человек мужского пола, 8 – женского), умерших от патологии, которая практически не изменила сосудистое русло почки (асфиксия).

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинской декларации (1997 – 2000 гг.), Конвенции Совета Европы о правах человека и биомедицине (1997 г.), положениями ВОЗ, Международного кодекса медицинской этики (1983 г.), правилами Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных исследованиях и других целях [14], а также законодательством РФ.

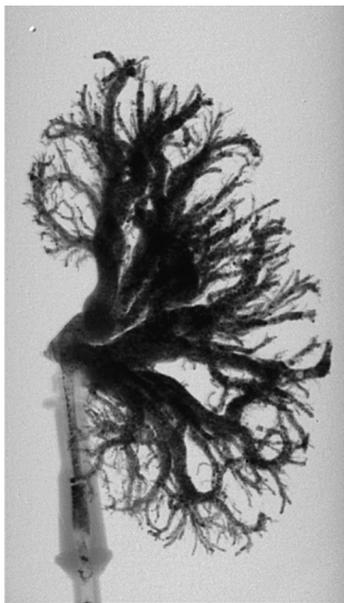
Были изготовлены и исследованы 17 коррозионных препаратов ВСРП: 9 препаратов артериальное русло, 8 – венозное. Использовали известный способ [8]. После извлечения из организма сосудистая система почки подвергалась промывке физиологическим раствором через почечную артерию и вену в течение 40-45 минут под давлением 80-90 мм Hg. При этом орган во время промывки и последующих этапов приготовления препаратов находился в специальном резервуаре, заполненном физиологическим раствором, что предотвращало деформацию его сосудов под действием собственного веса. После промывки в артериальное или венозное русло при помощи шприца нагнеталась предварительно подготовленная композиция [6] под давлением 80-100 мм рт. ст., после этого сосуд наглухо перевязывался. Емкость с находящейся в ней почкой помещали в термостат ($t=36^{\circ}\text{C}$). Через 24 часа почка погружалась в раствор концентрированной щелочи на 3-4 суток. Последующая промывка осуществлялась водопроводной водой в течение нескольких часов.

Использовали полимерную рентген контрастную композицию, состоящую из: полимера – порошкообразное средство «Протакрил М»; жидкого компонента – жидкое средство «Протакрил М»; рентген контрастного средства – сульфат бария; красителя – универсальный краситель. При следующем соотношении ингредиентов в мас. %: порошковое средство «Протакрил М» 30-50, жидкое средство «Протакрил М» 10-30, сульфат бария 10-30, универсальный краситель 10-30 [6].

Визуализацию проводили с помощью микротомографа BRUNKER SkyScan 1178 (рис. 1).



а) артериальное русло



б) венозное русло

Рис. 1. КТ-сканы коррозионных препаратов ВСРП человека

ВСРП представляли как дерево, состоящее из дихотомий (рис. 2). Дихотомия – конструкция, состоящая из трех сосудистых сегментов, где за материнский (D) принимали проксимальный сегмент, за два дочерних – дистальные сегменты с большим и меньшим диаметрами (d_{\max} и d_{\min}), идентично для артериального и венозного русла.

Для морфометрии использовали программный пакет blender с надстройкой NeuroMorph Measuring tools [26]. Измеряли диаметры сегментов (D, d_{\max} , d_{\min}) и углы между ними (α_{\max} , α_{\min}). Минимальный диаметр слепков сосудистых сегментов, который был измерен по данной методике, составлял 0,1 мм с точностью 0,05 мм и 0,5°.

Кроме морфометрического определения углов (α_{\max} и α_{\min}) между сосудистыми сегментами дихотомий, значения углов рассчитывали (где это возможно), используя уравнения Мургау С. Д. [7].

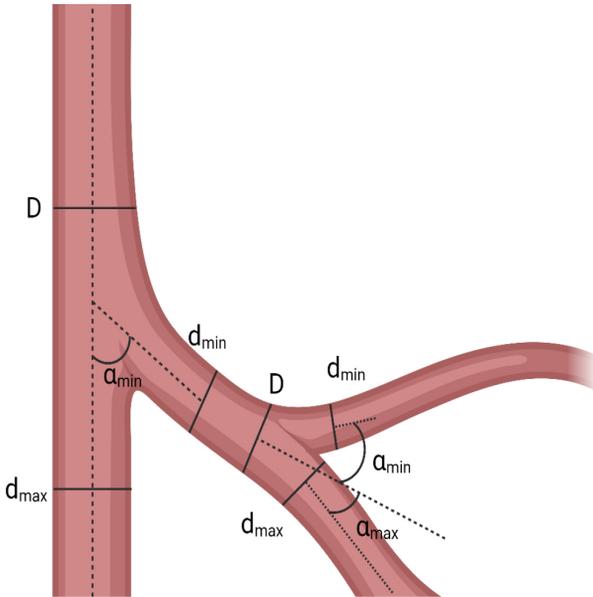


Рис. 2. Схема сосудистой (артериальной и венозной) дихотомии, где D – проксимальный сегмент, d_{\max} – дистальный сегмент с большим диаметром, d_{\min} – дистальный сегмент с меньшим диаметром, α_{\max} – угол отхождения дистального сегмента с большим диаметром от проксимального, α_{\min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального.

$$\alpha_{\max} = \arccos\left(\frac{D^4 + d_{\max}^4 - (D^3 - d_{\max}^3)^{\frac{4}{3}}}{2D^2 d_{\max}^2}\right) \quad (1)$$

$$\alpha_{\min} = \arccos\left(\frac{D^4 + d_{\min}^4 - (D^3 - d_{\min}^3)^{\frac{4}{3}}}{2D^2 d_{\min}^2}\right) \quad (2)$$

На последующих этапах дихотомии были разделены на 2 группы – «оптимальные» (ОДМ) и «неоптимальные» (НДМ) в соответствии с критерием С.Д. Миггау. Для ОМД – для артериальных дихотомий $\xi = 2,55 - 3,02$; для венозных дихотомий $\xi = 2,76 - 3,02$ из уравнения [21, 30, 36, 37]:

$$D^{\xi} - d_{\max}^{\xi} + d_{\min}^{\xi} \quad (3)$$

А также на «оптимальные» (ОДУ) и «неоптимальные» (НДУ) в соответствии с критерием Н. В. М. Ulings. Для ОДУ – для артериальных и венозных дихотомий $1 < \eta \leq 1,26$ из уравнения [35]:

$$\eta = \frac{d_{max}^2 + d_{min}^2}{D^2} \quad (4)$$

В последующем артериальные и венозные дихотомии были разделены на четыре структурно-различных типа [3]:

1) полная асимметрия – величины диаметров сегментов, которые составляют дихотомию, не равны между собой ($D \neq d_{max} \neq d_{min}$);

2) боковая асимметрия – величина диаметра проксимального сегмента равна значению диаметра большего из дистальных сегментов ($D = d_{max}$, $D \neq d_{min}$);

3) односторонняя симметрия – величины диаметров дистальных сегментов равны между собой и не равны значению диаметра проксимального сегмента ($D \neq d_{max}$, $d_{max} = d_{min}$);

4) полная симметрия – величины диаметров всех сегментов равны между собой ($D = d_{max} = d_{min}$).

Определяли медиану, среднюю величину, квартили, доверительный интервал, минимальное и максимальное значение, дисперсию, среднее квадратичное отклонение, ошибку среднего. Для оценки характера распределения использовали критерии Normal expected frequencies, Lilliefors Test For Normality, Shapiro-Wilk's W-test и Колмогорова-Смирнова. После проверки распределения величин исследуемых показателей использовали параметрические или непараметрические методы, руководствуясь рекомендациями [5].

Для получения представительной выборки пользовались методикой многоэтапной гнездовой выборки по Автандилову Г.Г. [1]. Для определения оптимального объема выборки использовали уравнение [5]:

$$N = 2 \times (A + B)^2 \times \frac{S^2}{DIFF^2}, \text{ где} \quad (5)$$

N – рекомендуемый объем выборки для каждой группы; S – среднее квадратичное отклонение анализируемого признака; $DIFF$ – значение эффекта (различия между средними значениями), которое предполагается выявить; $A=1,96$ – константа, зависящая от уровня значимости; $B=0,84$ – константа, зависящая от мощности критерия; при уровне значимости – 5% ($A=1,96$), и мощности – 80% ($B=0,84$) [5].

Пользовались лицензионными пакетами статистических программ – IBM SPSS Statistics и Microsoft Excel, MedStat в соответствии с рекомендациями [5, 18].

Результаты

Установлено, что оптимальный объем выборки артериальных дихотомий составил $N=66$. Использовали уравнение 5, где $S=0,39$ – среднее

квадратичное отклонение анализируемого признака (в данном случае – η) [3]; $DIF=0,19$ (теоретически рассчитанное значение среднего квадратичного отклонения показателя η [36] – значение эффекта (различия между средними значениями), которое предполагается выявить. Таким образом:

$$N = 2 \times (1,96 + 0,84)^2 \times \frac{0,39^2}{0,19^2} = 66 \quad (6)$$

Подобный расчет для венозных дихотомий на сегодняшний день невозможен, т.к. отсутствуют данные о величине S – среднее квадратичное отклонение анализируемого признака (в данном случае – η) Были получены и подвергнуты анализу 172 артериальных и 91 венозная дихотомия. Из дальнейшего исследования были исключены три венозные дихотомии, у которых $D=d_{\min}, d_{\max} > D$. Установлено, что распределение значений $D, d_{\max}, d_{\min}, \xi, \eta, \alpha_{\max}, \alpha_{\min}$ в группе артерий; $D, d_{\max}, d_{\min}, \xi, \eta, \alpha_{\max}$ в группе вен отлочно от нормального закона распределения. Тогда как закон распределения величины α_{\min} венозного русла не отличается от нормального закона.

Результаты морфометрии величин изучаемых показателей приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты морфометрии изучаемых показателей ВСРП

Переменная	Кол-во	Медиана	I квартиль	III квартиль	Минимум	Максимум	Ош. медианы	Лев. (95% ДИ)	Прав. (95% ДИ)
Артериальное русло									
$D, \text{мм}$	172	1,6	1,3	2,5	0,2	7,0	0,1	1,5	1,9
$d_{\max}, \text{мм}$	172	1,5	1,0	2,0	0,5	5,0	0,1	1,3	1,6
$d_{\min}, \text{мм}$	172	1,0	0,8	1,4	0,2	4,0	0,1	0,9	1,1
$\alpha_{\max}, ^\circ$	172	28,0	5,2	40,0	0,0	110,0	2,2	20,0	30,0
$\alpha_{\min}, ^\circ$	172	49,5	30,0	69,0	0,0	164,9	2,8	42,1	53,0
Венозное русло									
$D, \text{мм}$	88	4,0	3,0	5,3	1,5	11,5	0,3	3,7	4,5
$d_{\max}, \text{мм}$	88	3,9	2,7	5,0	0,5	9,0	0,2	3,0	4,0
$d_{\min}, \text{мм}$	88	2,5	2,0	3,0	0,5	8,0	0,2	2,0	3,0
$\alpha_{\max}, ^\circ$	88	18,0	0,0	39,0	0,0	152,2	3,4	12,6	27,9
Переменная	Кол-во	Среднее		С.к.о.	Минимум	Максимум	Ош. среднего	Лев.(95% ДИ)	Прав. (95% ДИ)
$\alpha_{\min}, ^\circ$	88	31,37		22,15	0,0	91,0	2,4	26,7	36,1

Примечание: D – диаметр проксимального сегмента (мм); d_{\max} – диаметр дистального сегмента с большим диаметром (мм); d_{\min} – диаметр дистального сегмента с меньшим диаметром (мм); α_{\max} – угол отхождения большего дистального сегмента от проксимального ($^\circ$), α_{\min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального ($^\circ$).

Далее была проведена проверка гипотезы о принадлежности независимых выборок к одной генеральной совокупности. Независимые выборки значений анализировали на предмет их возможной связи.

Таблица 2.

Значения морфометрических и расчетных показателей углов α_{\max} и α_{\min} дихотомий ВСРП

Показатель	Артериальное русло			Венозное русло		
	Морфометрические	Расчетные	p	Морфометрические	Расчетные	p
$\alpha_{\max}, ^\circ$ Ме (ДИ)	28,0 (20,0; 30,0)	29,7 (27,3; 33,9)	0,61	18,1 (14,1; 29,7)	29,7 (22,4; 32,7)	0,64
$\alpha_{\min}, ^\circ$ Ме (ДИ)	49,5 (42,1; 53,0)	55,4 (53,3; 56,9)	0,007	26 (20,3; 37,4)	54,5 (52,7; 56,9)	0,005

Примечание: α_{\max} – угол отхождения большего дистального сегмента от проксимального ($^\circ$), α_{\min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального ($^\circ$), p – уровень значимости отличий (U критерия Манна-Уитни).

На следующем этапе исследования дихотомии были разделены на 2 группы, «оптимальные» (ОДМ) и «неоптимальные» (НДМ) в соответствии с критерием С.Д. Муггау (табл. 3) и Н.В.М. Ulings (табл. 4), а также на 4 структурно-различных типа (табл. 5). Результаты приведены на рис. 3.

В дальнейший анализ не были включены дихотомии, для которых невозможно рассчитать величину α_{\min} по уравнениям С.Д. Муггау. Были исключены семь артериальных и пять венозных дихотомий. Обращали внимание именно на величину показателя α_{\min} , т.к. она значимо отличается при сравнении значений, полученных путем морфометрии и рассчитанных по уравнению С.Д. Муггау.

Таблица 3.

Значения α_{\min} «оптимальных» (ОДМ) и «неоптимальных» (НДМ) в соответствии с критерием С.Д. Муггау групп дихотомий ВСРП

Показатель	Группы дихотомий в соответствии с критерием С.Д. Муггау					
	Артериальное русло			Венозное русло		
	ОДМ	НДМ	p	ОДМ	НДМ	p
$\alpha_{\min}, ^\circ$ (морфометрический) Ме (ДИ)	34 (26; 58)	49,5 (42,9; 53)	0,22	15,4 (0;60)	27 (20,3;37,8)	0,440
$\alpha_{\min}, ^\circ$ (расчетный) Ме (ДИ)	49,8 (45,1;52,7)	55,9 (55,2; 60,6)	0,003	45,1 (41,5;45,1)	56,9 (52,7;58,4)	0,047
Уровень значимости отличий (p)	0,271	0,005		0,343	0,0001	

Примечание: α_{\min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального ($^\circ$), p – уровень значимости отличий (U критерия Манна-Уитни).

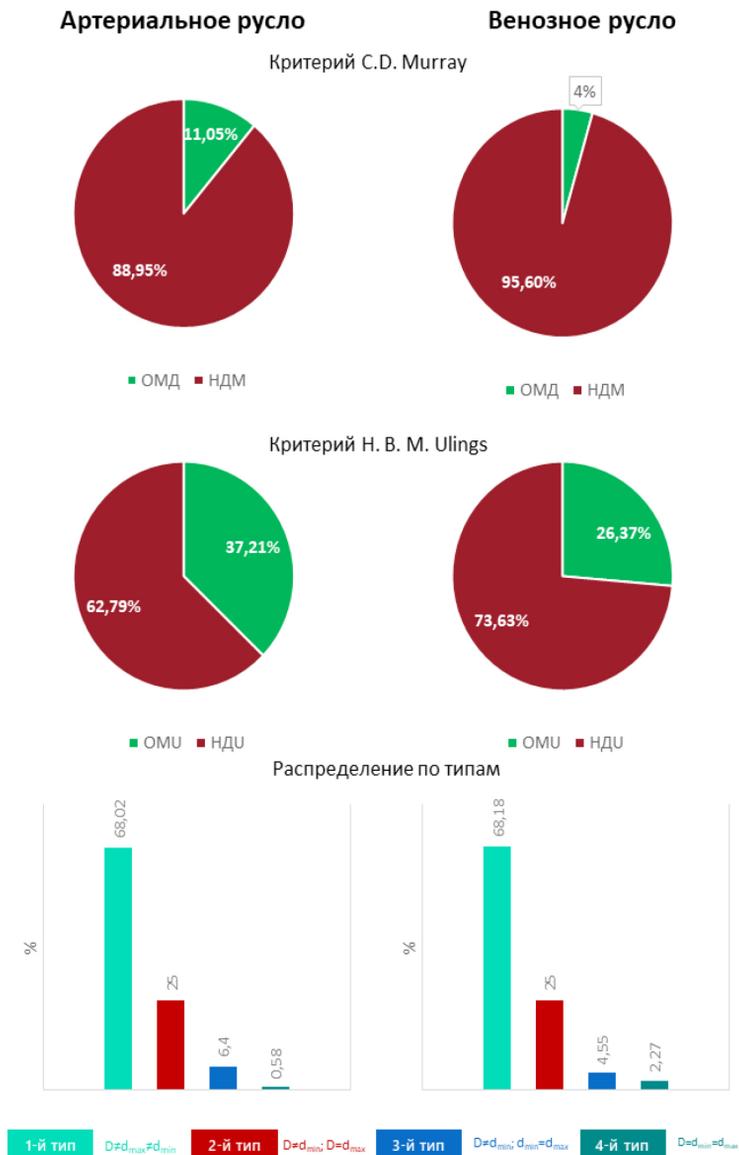


Рис. 3. Относительное количество (%) сосудистых дихотомий разных групп и структурно-различных типов, составляющих ВСРП

В таблицах 3 и 4 приведены результаты определения α_{\min} для оставшихся дихотомий. На заключительном этапе исследования была проведена проверка гипотезы о принадлежности независимых выборок к одной генеральной совокупности. Выборки были представлены значениями углов α_{\min} структурно-различных дихотомий ВСРП, которые были получены путем морфометрии и с использованием уравнений С.Д. Мургау 1 и 2 (табл. 5).

Артериальные и венозные дихотомии 4 типа не рассматривались в связи с их малым количеством – одна артериальная и две венозные.

Таблица 4.

Значения α_{\min} «оптимальных» (ОДУ) и «неоптимальных» (НДУ) в соответствии с критерием Н. В. М. Улинга групп дихотомий ВСРП

Показатель	Группы дихотомий в соответствии с критерием Н. В. М. Улинга					
	Артериальное русло			Венозное русло		
	ОДУ	НДУ	p	ОДУ	НДУ	p
α_{\min}° (морфометрический) Me (ДИ)	51 (45;70)	45 (35;53)	0,042	22,6 (17,2;40)	27 (20,3;37,8)	0,748
α_{\min}° (расчетный) Me (ДИ)	62,5 (55,4;66,2)	55,4 (53,3;58,0)	0,004	55,3 (47,1;61,5)	55 (52,7;57,9)	0,626
Уровень значимости отличий (p)	0,360	0,006		0,0001	0,0001	

Примечание: α_{\min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального ($^{\circ}$), p – уровень значимости отличий (U критерия Манна-Уитни).

Таблица 5.

Значения угла α_{\min} , ВСРП структурно-различных типов дихотомий

Показатель	Структурно-различные типы дихотомий							
	Артериальное русло				Венозное русло			
	1	2	3	p*	1	2	3	p*
α_{\min}° (морфометрический) Me (ДИ)	40 (34;50)	60 (50;77)	32 (2;47,5)	0,0001	26 (17,9;38)	32 (24;40)	32,65 (5;74)	0,134
α_{\min}° (расчетный) Me (ДИ)	55,4 (53,3;58,2)	59,2 (55;65,7)	43,6 (32,7;53,3)	0,008	56,9 (54,5;59,3)	53,6 (47,5;57,9)	39,1 (29,7;73)	0,021
Уровень значимости отличий (p)	0,0001	0,158	0,193		0,0001	0,0001	1,0	

Примечание: α_{\min} – угол отхождения меньшего дистального сегмента от проксимального ($^{\circ}$), p* – уровень значимости отличий (критерий Крускала-Уолиса), p – уровень значимости отличий (U критерия Манна-Уитни).

Обсуждение

Результаты морфометрии (табл. 1) исследуемых показателей показывают, что внутренний диаметр венозных сегментов, составляющих дихотомию, примерно в 2,5 раза больше, чем значения соответствующих показателей артериальных дихотомий. Приведенные факты широко известны [33] и являются непрямым подтверждением правильности проведенных измерений. Важно отметить, что распределение значения угла α_{\min} соответствует нормальному закону распределения в отличие от распределений величин остальных изучаемых показателей.

Интересные результаты получены в ходе сравнительного анализа значений углов α_{\max} и α_{\min} дихотомий, полученных путем морфометрии и расчетов с использованием уравнений С.Д. Murray 1 и 2 (табл. 2). Установлено, что величина угла α_{\max} двух групп сравнения (морфометрические и расчетные) не отличается друг от друга в случае артериального и венозного русел. Тогда как расчетные значения α_{\min} значимо больше, чем морфометрические. Это характерно и для артериального, и для венозного русла. Полученные факты свидетельствуют о том, что уравнения С.Д. Murray можно уверенно использовать для численного моделирования α_{\max} артериальных и венозных дихотомий ВСРП человека. Ситуация с α_{\min} нуждается в дальнейшем исследовании и обсуждении.

Вильгельмом Ру была предложена гипотеза о том, что конструкция оптимальной (нормальной, непатологической) сосудистой дихотомии построена на основании принципа минимальной затраты биологического материала и минимальной работы, необходимой для продвижения по ней крови. Английский физиолог Murray С. Д. установил зависимости между величинами углов и значениями внутренних диаметров сосудов, составляющих оптимальную дихотомию [16]. Для магистральных артерий этот показатель равен $\xi = 2,33$ (ξ – из уравнения 3) [31], для более мелких – $\xi = 1 - 1,15$. Pollanen M.S. et al [29] считают, что значение $\xi = 3$ обеспечивает оптимальное соотношение между диаметрами артериальных сегментов, составляющих дихотомию в условиях ламинарного тока крови, а $\xi = 2,33$ – в условиях турбулентного. Для оптимальных венозных дихотомий $\xi = 2,76 - 3,02$. [21, 30, 36, 37]. Однако проведенное нами исследование показало (рис. 3), что дихотомии, удовлетворяющие данному принципу, составляют – 11,05% для артериального русла и 4% – для венозного!?

Н. В. М. Ulings для оценки оптимальности использовал коэффициент ветвления: η – area ratio. Он утверждал, что оптимальными являются дихотомии, у которых величина η находится в пределах $1 < \eta \leq 1,26$. И считал воз-

возможным применять данный показатель для определения оптимальности симметричных и несимметричных дихотомий [35]. Действительно, значение η – area ratio может быть рассчитано практически для любого типа структурно-различных дихотомий ВСРП. Однако нами было обнаружено только 37% оптимальных (по Н. В. М. Ulings) дихотомий в артериальном русле и 26% в венозном (рис. 3).

Возникает закономерный вопрос о «нормальности» исследованного нами ВСРП. Возможно, в физиологических условиях функционирования ВСРП данный феномен компенсируется за счет разности реологических свойств крови и/или сосудистой стенки на разных уровнях деления сосудов. Известно, что сосудистое русло делится на ряд функциональных групп [13]: амортизирующие, резистивные, обменные и др. Наше исследование касается в основном сосудов резистивного типа – артерии и ёмкостного – вены, поэтому показатели, характеризующие оптимальность для них, имеют значения отличные от таковых амортизирующих (магистральных) и обменных (микроциркуляторное русло) сосудов. Нельзя также исключать наличие некоторого процента патологических сосудистых дихотомий, которые, вероятно, в таком количестве себя клинически не проявляют, однако могут служить потенциальной основой будущей функциональной несостоятельности ВСРП. Вероятно также наличие погрешности измерений.

Возвращаясь к ситуации с поведением величины угла α_{\min} стоит отметить, что в табл. 3 приведены убедительные свидетельства, значимого ($p=0,005$) отличия величины этого показателя у НДМ, полученные путем морфометрии ($Me=49,5^\circ$) и путем расчетов ($Me=55,9^\circ$) и отсутствие ($p=0,271$) таковых у ОДМ для артериального русла. В венозном русле величина морфометрического показателя угла α_{\min} НДМ ($Me=27^\circ$) значимо ($p=0,0001$) меньше, чем расчетного ($Me=56,9^\circ$). Значения угла α_{\min} у морфометрических и расчетных показателей ОДМ не отличаются ($p=0,343$). Наличие значимых отличий между величинами угла α_{\min} , полученными расчетным путем у ОДМ и НДМ для артерий ($p=0,003$) и вен ($p=0,047$), можно рассматривать как подтверждение правильности проведенных расчетов.

В табл. 4, где даны значения угла α_{\min} «оптимальных» (ОДУ) и «неоптимальных» (НДУ), в соответствии с критерием Н. В. М. Ulings, приведены в какой-то степени противоречивые данные. Показано, что величина морфометрического угла α_{\min} НДУ ($Me=45^\circ$) значимо ($p=0,006$) меньше, чем расчетных НДУ ($Me=55,4^\circ$) артериальных дихотомий. Морфометрические и расчетные величины угла α_{\min} ОДУ и НДУ артериального русла

заметно отличаются друг от друга. Значения этих показателей артериальных морфометрических ОДУ ($Me=51^\circ$) и расчетных ОДУ ($Me=62,5^\circ$) значимо больше, чем у морфометрических НДУ и расчетных НДУ ($Me=45^\circ$ и $Me=55,4^\circ$, соответственно). Это не характерно для венозного русла. В венозном русле морфометрические и расчетные значения угла α_{\min} ОДУ и НДУ значимо не отличаются. Однако имеет место отличие между морфометрическими и расчетными показателями внутри группы ОДУ и НДУ. Величина морфометрического показателя угла α_{\min} ОДУ ($Me=22,6^\circ$) меньше ($p=0,0001$) значения расчетного угла ОДУ ($Me=55,3^\circ$). Подобное характерно и для НДУ, величина морфометрического показателя угла α_{\min} НДУ ($Me=27^\circ$) меньше ($p=0,0001$) значения расчетного угла НДУ ($Me=55^\circ$).

Приведенные факты можно объяснить наличием структурно-различных типов дихотомий (рис. 3), присутствующих в разных группах (ОДМ-НДМ и ОДУ-НДУ) и отделах ВСРП (артериях и венах) [35].

Результаты анализа значения угла α_{\min} ВСРП структурно-различных типов дихотомий приведены в табл. 5. Установлено, что величины углов α_{\min} , полученные путем морфометрии структурно-различных типов артериальных дихотомий значимо отличаются ($p=0,0001$). Сходная картина наблюдается и в случае расчетных значений углов α_{\min} структурно-различных типов артериальных дихотомий ($p=0,008$). В венозном русле значимых отличий между величинами углов α_{\min} , полученных путем морфометрии, не наблюдается ($p=0,134$). Однако наблюдаются значимые отличия в величинах углов α_{\min} , рассматриваемых структурно-различных дихотомий, полученные расчетным путем ($p=0,021$). Установлено отсутствие значимых отличий между значениями углов α_{\min} , полученных путем морфометрии и рассчитанных по формуле С.Д. Муггау для структурно-различных артериальных дихотомий 2-го и 3-го типов ($p=0,158$ и $p=0,193$, соответственно) и венозных дихотомий 3-го типа ($p=1,0$). Для артериальных дихотомий 1-го и венозных дихотомий 1-го и 2-го типов подобные отличия имеют место. Полученное путем морфометрии значение угла α_{\min} ($Me=40^\circ$) артериальной дихотомии 1-го типа значимо ($p=0,0001$) меньше величины соответствующего показателя, полученного расчетным путем ($Me=55,4^\circ$). Похожая картина наблюдается и для венозной дихотомии 1-го типа, где величина угла α_{\min} ($Me=26^\circ$), полученная путем морфометрии, значимо ($p=0,0001$) меньше, чем полученная расчетным путем ($Me=56,9^\circ$). У венозных дихотомий 2-го типа величина угла α_{\min} ($Me=32^\circ$), полученная путем морфометрии, также значимо ($p=0,0001$) меньше, чем полученная расчетным путем ($Me=53,6^\circ$).

В порядке дискуссии. Возможно, установленные нами факты касаются только сосудистого русла почки. Как известно в почках присутствует так называемая «чудесная сеть» (*rete mirabile*) – сосудистая сеть, образующаяся в результате одновременного разделения исходного кровеносного сосуда на капилляроподобные ветви, которые затем собираются в общий ствол. Может быть, обнаруженные особенности строения дихотомий характерны для 3D конструкции сосудистого русла паренхиматозных органов, к которым относится почка и не характерно для органов, у которых русло имеет 2D конструкцию. Например, полые органы (желудок, толстая и тонкая кишка), у которых сосудистое русло имеет плоскую конфигурацию. Становится понятно, что подобного рода исследования должны быть проведены в отношении различных внутренних органов человека. Только после этого можно делать какие-то общие выводы и намечать глобальные перспективы использования уравнений Мургау С. Д. для численного моделирования сосудистых дихотомий. Не исключено, что после проведения подобного рода исследований будут сформулированы новые морфофункциональные принципы оптимальности строения различных (артериальных и венозных) русел разных органов (паренхиматозных, полых, мышечных и имеющих особое строение). И на основании этих принципов оптимальности будет создана система универсальных уравнений, подобная уравнениям Мургау С. Д., которую можно будет использовать для численного моделирования любого вида, группы, типа дихотомий.

Резюмируя представленный материал, следует отметить, в соответствии с целью нашей работы – провести морфометрический анализ применимости уравнений Мургау С. Д. для расчёта значений углов дихотомий внутриорганных артериального и венозного русел почки человека – установлено, что применение уравнений Мургау С. Д. для численного моделирования сосудистых дихотомий почки человека носит ограниченный характер. Использование уравнения Мургау С. Д., для расчетов величины угла α_{\max} можно для любых структурно-различных типов сосудистых дихотомий почки человека. Однако применять уравнение Мургау С. Д. для расчетов значений угла α_{\min} нельзя для артериальных и венозных дихотомий 1-го структурно-различного типа и для 2-го типа венозных дихотомий. Таким образом, считаем, что поставленная цель достигнута. Чтобы рассуждать о перспективе численного моделирования сосудистых дихотомий внутренних органов нужно провести большое самостоятельное исследование, что не является целью данной работы.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Проект реализуется при поддержке гранта Фонда содействия развитию институтов гражданского общества в ПФО (грантополучатель: Милтых И.С., 2020 г.).

Список литературы

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. Руководство. М.: Медицина, 1990. 384 с.
2. Глотов В.А. Структурный анализ микрососудистых бифуркаций (микрососудистый узел и гемодинамический фактор). Смоленск: Амипресс, 1995. 251 с.
3. Зенин О.К. Морфометрический анализ дихотомий внутриорганного артериального русла почки / О.К. Зенин, О.А. Бешуля // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2013. № 4 (28). С. 26-34.
4. Мамисашвили В.А. Критерий оптимального функционирования подсистем крупных и мелких пиалных артерий / В.А. Мамисашвили, М.К. Бабунашвили // Физиологический журнал СССР. 1975. Т. 61, № 10. С. 1501-1506.
5. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat / Ю.Е. Лях [и др.]. Донецк: Папакица Е. К., 2006. 214 С.
6. Полимерная рентгенконтрастная смесь для изготовления коррозионных анатомических препаратов: пат. 145561 Украина: МПК A01N 1/02 / Кафаров Э. С. Дмитриев А.В., Зенин О.К., Везирханов А.З., Вагабов И.У., Милтых И.С.; заявл. 09.06.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24. 6 с.
7. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. 231 с.
8. Спосіб виготовлення корозійних препаратів судинної системи порожнистого органа: пат. 42409А Україна, МПК 7A61F2/06. / Кір'якулов Г. С., Зенін О. К., Хаджинов Д. Г., Неудачина К. А., Балабанова Ю. В. № 2001021136; заявл. 19.02.2001; опубл. 15.10.2001, Бюл. № 9. 2 с.
9. Angle matching in intravascular elastography / C.R.M. Janssen [et al.] // Ultrasonics. 2000. Vol. 38. № 1-8. P. 417-423. [https://doi.org/10.1016/s0041-624x\(99\)00188-2](https://doi.org/10.1016/s0041-624x(99)00188-2)
10. Beek J.H.G.M. Van. Regional myocardial flow heterogeneity explained with fractal networks / J.H.G.M. Van Beek, S.A. Roger, J.B. Bassingthwaighte // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 1989. Vol. 257. № 5. P. H1670-H1680. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1989.257.5.h1670>
11. Bell J.B. A Second-Order Projection Method for the Incompressible Navier-Stokes Equations / J.B. Bell, P. Colella, H.M. Glaz // Journal of Computational

- Physics. 1989. Vol. 85. № 2. P. 257-283. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(89\)90151-4](https://doi.org/10.1016/0021-9991(89)90151-4)
12. Blood vessel segmentation algorithms — Review of methods, datasets and evaluation metrics / S. Moccia [et al.] // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2018. Vol. 158. P. 71-91. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.02.001>
 13. Cavagna G. *Circulation of Blood // Fundamentals of Human Physiology*. Springer International Publishing, 2019. P. 1-63. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19404-8_1
 14. *European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes*. Strasbourg, 1986. 53 p.
 15. Extension of Murray's law using a non-Newtonian model of blood flow / R. Revellin [et al.] // *Theoretical Biology and Medical Modelling*. 2009. Vol. 6. № 1. Article number: 7. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-6-7>
 16. Fast algorithm for 3-D vascular tree modeling / M. Kretowski [et al.] // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2003. Vol. 70. № 2. P. 129-136. [https://doi.org/10.1016/s0169-2607\(01\)00200-0](https://doi.org/10.1016/s0169-2607(01)00200-0)
 17. Fredrich T. Dynamic vessel adaptation in synthetic arteriovenous networks / T. Fredrich, M. Welter, H. Rieger // *Journal of Theoretical Biology*. 2019. Vol. 483. P. 109989. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.109989>
 18. Green S.B. *Using SPSS for Windows and Macintosh: Analyzing and understanding data / S.B. Green, N.J. Salkind*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2012. 459 p.
 19. Greenwald S.E. Improving vascular grafts: the importance of mechanical and haemodynamic properties / S.E. Greenwald, C.L. Berry // *The Journal of Pathology*. 2000. Vol. 190. № 3. P. 292-299. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9896\(200002\)190:3<292::AID-PATH528>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9896(200002)190:3<292::AID-PATH528>3.0.CO;2-S)
 20. Hagmeijer R. Critical review of Murray's theory for optimal branching in fluidic networks / R. Hagmeijer, C.H. Venner // arXiv. 2018. <http://arxiv.org/abs/1812.09706>
 21. LaBarbera M. Principles of design of fluid transport systems in zoology // *Science*. 1990. Vol. 249. № 4972. P. 992-1000. <https://doi.org/10.1126/science.2396104>
 22. Leuprecht A. Computer simulation of non-newtonian effects on blood flow in large arteries / A. Leuprecht, K. Perktold // *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 2001. Vol. 4. № 2. P. 149-163. <https://doi.org/10.1080/10255840008908002>
 23. Limited Bifurcation Asymmetry in Coronary Arterial Tree Models Generated by Constrained Constructive Optimization / W. Schreiner [et al.] // *Journal of*

- General Physiology. 1997. Vol. 109. № 2. P. 129-140. <https://doi.org/10.1085/jgp.109.2.129>
24. Morphometry of the human pulmonary vasculature / W. Huang [et al.] // Journal of Applied Physiology. 1996. Vol. 81. № 5. P. 2123-2133. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2123>
 25. Murray C.D. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries // Journal of General Physiology. 1926. Vol. 9. № 6. P. 835-841. <https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835>
 26. NeuroMorph: A Toolset for the Morphometric Analysis and Visualization of 3D Models Derived from Electron Microscopy Image Stacks / A. Jorstad [et al.] // Neuroinformatics. 2015. Vol. 13. № 1. P. 83-92. <https://doi.org/10.1007/s12021-014-9242-5>
 27. Olufsen M.S. A one-dimensional fluid dynamic model of the systemic arteries / M.S. Olufsen // Studies in Health Technology and Informatics. 2000. Vol. 71. P. 79-97. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-915-8-79>
 28. Personalized Computational Hemodynamics. Pers. Comput. Hemodynamics / Y. Vasilevski [et al.]. Elsevier, 2020. 270 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02421-7>
 29. Pollanen M.S. Dimensional optimization at different levels of the arterial hierarchy / M.S. Pollanen // Journal of Theoretical Biology. 1992. Vol. 159. № 2. P. 267-270. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(05\)80706-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(05)80706-4)
 30. Pries A.R. Design Principles of Vascular Beds / A.R. Pries, T.W. Secomb, P. Gaehtgens // Circulation Research. 1995. Vol. 77. № 5. P. 1017-1023. <https://doi.org/10.1161/01.RES.77.5.1017>
 31. Retinal vascular tree morphology: A semi-automatic quantification / M.E. Martinez-Perez [et al.] // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2002. Vol. 49. № 8. P. 912-917. <https://doi.org/10.1109/TBME.2002.800789>
 32. Roux W. Ueber die Verzweigungen der Blutgefäße. Eine morphologische Studie / W. Roux // Z. Naturwissenschaft. 1878. Vol. 12. P. 205-266.
 33. Standring S. Gray's anatomy E-Book: the anatomical basis of clinical practice. London: Elsevier Health Sciences, 2021. 1588 p.
 34. The branching angles in computer-generated optimized models of arterial trees. / W. Schreiner [et al.] // Journal of General Physiology. 1994. Vol. 103. № 6. P. 975-989. <https://doi.org/10.1085/jgp.103.6.975>
 35. Uyllings H.B.M. Optimization of diameters and bifurcation angles in lung and vascular tree structures // Bulletin of Mathematical Biology. 1977. Vol. 39. № 5. P. 509-520. <https://doi.org/10.1007/BF02461198>
 36. Zamir M. Cost of departure from optimality in arterial branching / M. Zamir, D.C. Bigelow // Journal of Theoretical Biology. 1984. Vol. 109. № 3. P. 401-409. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(84\)80089-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(84)80089-2)

37. Zamir M. Branching characteristics of human coronary arteries / M. Zamir, H. Chee // Canadian Journal of Physiology and Pharmacology. 1986. Vol. 64. № 6. P. 661-668. <https://doi.org/10.1139/y86-109>

References

1. Avtandilov G.G. *Meditsinskaya morfometriya. Rukovodstvo* [Medical morphometry. Tutorial]. M.: Meditsina, 1990, 384 p.
2. Glotov V.A. *Strukturnyy analiz mikrososudistykh bifurkatsiy (mikrososudisty uzeli gemodinamicheskogo faktora)* [Structural analysis of the microvascular bifurcations (microvascular node and hemodynamic factor)]. Smolensk: Ampipress, 1995, 251 p.
3. Zenin O.K., Beshulya O.A. Morfometricheskyy analiz dikhotomiy vnutriorganogo arterial'nogo rusla pochki [Morphological analysis of dichotomies of the kidney intraorgan arterial bed]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region* [University proceedings. Volga region], 2013, no. 4 (28), pp. 26-34.
4. Mamisashvili V.A., Babunashvili M.K. Kriteriy optimal'nogo funktsionirovaniya podsystem krupnykh i melkikh pial'nykh arteriy [Optimal functioning of the subsystems of large and small pial arteries criteria]. *Fiziologicheskyy zhurnal SSSR* [USSR Physiological journal], 1975, vol. 61, no. 10, pp. 1501-1506.
5. Lyakh Yu.E. et al. *Osnovy komp'yuternoy biostatistiki: analiz informatsii v biologii, meditsine i farmatsii statisticheskim paketom MedStat* [Computer biostatistics basics: data analysis in biology, medicine and pharmacology with MedStat app]. Donetsk: Papakitsa E. K., 2006. 214 p.
6. Kafarov E. S. Dmitriev A.V., Zenin O.K., Vezirkhanov A.Z., Vagabov I.U., Milytykh I.S. *Polimernaya rentgenkontrastnaya smes' dlya izgotovleniya korroziyonnykh anatomicheskikh preparatov* [Polymer radiopaque mixture for the manufacture of corrosive anatomical preparations]: pat. 145561 Ukraine: MPK A01N 1/02; applied. 09.06.2020; published. 28.12.2020, Byul. № 24. 6 p.
7. Rozen R. *Printsip optimal'nosti v biologii* [Optimality principle in biology]. M.: Mir, 1969. 231 p.
8. Kiryakulov G.S., Zenin O.K., Khadzhinov D.G., Neudachina K.A., Balabanova Yu.V. *Sposib vigotovlennya korozivnykh preparativ sudinnoi sistemi porozhnistogo organa* [A method of manufacturing corrosion preparations of the vascular system of the hollow organ]: pat. 42409A Ukraine, MPK 7A61F2/06. / № 2001021136; applied. 19.02.2001; published. 15.10.2001, Byul. № 9. 2 p.

9. Janssen, C.R.M., C.L. de Korte, M.S. van der Heiden, C.P.A. Wapenaar, and A.F.W. van der Steen. Angle Matching in Intravascular Elastography. *Ultrasonics*, 2000, vol. 38, no. 1–8, pp. 417–423. [https://doi.org/10.1016/s0041-624x\(99\)00188-2](https://doi.org/10.1016/s0041-624x(99)00188-2)
10. Beek J.H.G.M. Van S.A. Roger, Bassingthwaighte J.B. Regional Myocardial Flow Heterogeneity Explained with Fractal Networks. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 1989, vol. 257, no. 5, pp. H1670-H1680. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1989.257.5.h1670>
11. Bell, John B, Phillip Colella, Harland M Glaz. A Second-Order Projection Method for the Incompressible Navier-Stokes Equations. *Journal of Computational Physics*, 1989, vol. 85, no. 2, pp. 257–283. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(89\)90151-4](https://doi.org/10.1016/0021-9991(89)90151-4)
12. Moccia, Sara, Elena De Momi, Sara El Hadji, Leonardo S. Mattos. Blood Vessel Segmentation Algorithms – Review of Methods, Datasets and Evaluation Metrics. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2018, vol. 158, pp. 71–91. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.02.001>
13. Cavagna, Giovanni. Circulation of Blood. *Fundamentals of Human Physiology*. Springer International Publishing, 2019. pp. 1–63. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19404-8_1
14. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. Strasbourg, 1986.
15. Revellin, Rémi, François Rousset, David Baud, Jocelyn Bonjour. Extension of Murray’s Law Using a Non-Newtonian Model of Blood Flow. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2009, vol. 6, no. 1, Article number: 7. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-6-7>
16. Kretowski, Marek, Yan Rolland, Johanne Bézy-Wendling, Jean-Louis Louis Coatrieux. Fast Algorithm for 3-D Vascular Tree Modeling. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2003 vol. 70, no. 2, pp. 129–36. [https://doi.org/10.1016/s0169-2607\(01\)00200-0](https://doi.org/10.1016/s0169-2607(01)00200-0)
17. Fredrich, Thierry, Michael Welter, Heiko Rieger. Dynamic Vessel Adaptation in Synthetic Arteriovenous Networks. *Journal of Theoretical Biology*, 2019, vol. 483, 109989. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.109989>
18. Green, Samuel B, Neil J Salkind. *Using SPSS for Windows and Macintosh: Analyzing and Understanding Data*. 6th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2012.
19. Greenwald S.E., Berry C.L. Improving Vascular Grafts: The Importance of Mechanical and Haemodynamic Properties. *The Journal of Pathology*, 2000, vol. 190, no. 3, pp. 292–299. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9896\(200002\)190:3<292::AID-PATH528>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9896(200002)190:3<292::AID-PATH528>3.0.CO;2-S)

20. Hagmeijer R., Venner C.H. Critical Review of Murray's Theory for Optimal Branching in Fluidic Networks. *ArXiv*, December 23, 2018. <http://arxiv.org/abs/1812.09706>
21. LaBarbera M. Principles of Design of Fluid Transport Systems in Zoology. *Science*, 1990, vol. 249, no. 4972, pp. 992–1000. <https://doi.org/10.1126/science.2396104>
22. Leuprecht Armin, Perktold Karl. Computer Simulation of Non-Newtonian Effects on Blood Flow in Large Arteries. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2001, vol. 4, no. 2, pp. 149–63. <https://doi.org/10.1080/10255840008908002>
23. Schreiner, Wolfgang, Friederike Neumann, Martin Neumann, Rudolf Karch, Adelheid End, Susanne M. Roedler. Limited Bifurcation Asymmetry in Coronary Arterial Tree Models Generated by Constrained Constructive Optimization. *Journal of General Physiology*, 1997, vol. 109, no. 2, pp. 129–40. <https://doi.org/10.1085/jgp.109.2.129>
24. Huang, W., R. T. Yen, M. McLaurine, G. Bledsoe. Morphometry of the Human Pulmonary Vasculature. *Journal of Applied Physiology*, 1996, vol. 81, no. 5, pp. 2123–2133. <https://doi.org/10.1152/jap.1996.81.5.2123>
25. Murray C.D. The Physiological Principle of Minimum Work Applied to the Angle of Branching of Arteries. *Journal of General Physiology*, 1926, vol. 9, no. 6, pp. 835–41. <https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835>
26. Jorstad, Anne, Biagio Nigro, Corrado Cali, Marta Wawrzyniak, Pascal Fua, Graham Knott. NeuroMorph: A Toolset for the Morphometric Analysis and Visualization of 3D Models Derived from Electron Microscopy Image Stacks. *Neuroinformatics*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 83–92. <https://doi.org/10.1007/s12021-014-9242-5>
27. Olufsen, Mette S. A One-Dimensional Fluid Dynamic Model of the Systemic Arteries. *Studies in Health Technology and Informatics*, 2000, vol. 71, pp. 79–97. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-915-8-79>
28. Vasilevski, Yuri, Maxim Olshanskii, Sergey Simakov, Andrey Kolobov, and Alexander Danilov. *Personalized Computational Hemodynamics*. Elsevier, 2020. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02421-7>
29. Pollanen, M.S. “Dimensional Optimization at Different Levels of the Arterial Hierarchy.” *Journal of Theoretical Biology* 159, no. 2 (1992): 267–70. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(05\)80706-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(05)80706-4)
30. Pries, Axel R., Timothy W. Secomb, Peter Gaetgens. Design Principles of Vascular Beds. *Circulation Research*, 1995, vol. 77, no. 5, pp. 1017–23. <https://doi.org/10.1161/01.RES.77.5.1017>

31. Martinez-Perez, M. Elena, Alun D. Hughes, Alice V. Stanton, Simon A. Thom, Neil Chapman, Anil A. Bharath, Kim H. Parker. Retinal Vascular Tree Morphology: A Semi-Automatic Quantification. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2002, vol. 49, no. 8, pp. 912–917. <https://doi.org/10.1109/TBME.2002.800789>
32. Roux W. Ueber Die Verzweigungen Der Blutgefäße. Eine Morphologische Studie. *Z. Naturwissenschaft*, 1878, vol. 12, pp. 205–66.
33. Standring, Susan. *Gray's Anatomy E-Book: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 42nd ed. London: Elsevier Health Sciences, 2021.
34. Schreiner, Wolfgang, M Neumann, Friederike Neumann, Susanne M. Roedler, Adelheid End, P. Buxbaum, Mrcael R. Müller, Paul Spieckermann. The Branching Angles in Computer-Generated Optimized Models of Arterial Trees. *Journal of General Physiology*, 1994, vol. 103, no. 6, pp. 975–989. <https://doi.org/10.1085/jgp.103.6.975>
35. Uylings H. B. M. Optimization of Diameters and Bifurcation Angles in Lung and Vascular Tree Structures. *Bulletin of Mathematical Biology*, 1977, vol. 39, no. 5, pp. 509–520. <https://doi.org/10.1007/BF02461198>
36. Zamir, M., D. C. Bigelow. Cost of Departure from Optimality in Arterial Branching. *Journal of Theoretical Biology*, 1984, vol. 109, no. 3, pp. 401–409. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(84\)80089-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(84)80089-2)
37. Zamir M., H. Chee. Branching Characteristics of Human Coronary Arteries. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 1986, vol. 64, no. 6, pp. 661–668. <https://doi.org/10.1139/y86-109>

ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ

Зенин Олег Константинович, д.м.н., профессор кафедры «Анатомия человека»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»

*ул. Красная, 40, г. Пенза, 440026, Российская Федерация
zen.olegz@gmail.com*

Милтых Илья Сергеевич, студент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»

*ул. Красная, 40, г. Пенза, 440026, Российская Федерация
ilyamiltykh@outlook.com*

Дмитриев Андрей Викторович, к.м.н., заведующий отделением рентгенэндоваскулярной хирургии
Институт неотложной и восстановительной хирургии имени В.К. Гусака
пр. Ленинский, 47, г. Донецк, 83000, Украина
dmित्रiev72@list.ru

Юрченко Ольга Олеговна, ассистент кафедры «Патологическая анатомия»
Государственная образовательная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького»
пр. Ильича, 16, г. Донецк, 283003, Украина
miss.patologoanatom@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg K. Zenin, Doctor of Medical Sciences, Professor of Human anatomy
Penza State University
40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation
SPIN-code: 3159-1346
ORCID: 0000-0002-5447-1989
ResearcherID: O-7965-2015
Scopus Author ID: 57198085128

Ilya S. Miltykh, student
Penza State University
40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation
ilyamiltykh@outlook.com
SPIN-code: 9363-6873
ORCID: 0000-0002-9130-3255

Andrey V. Dmitriev, Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Endovascular Surgery
V.K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery
47, Leninskiy pr., Donetsk, 83000, Ukraine
dmित्रiev72@list.ru

Olga O. Iurchenko, Assistant professor at “Pathological anatomy” department
M. Gorky Donetsk National Medical University
16, Illyica ave., Donetsk, 283003, Ukraine
miss.patologoanatom@gmail.com

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-193-207

УДК 57.048

ОСОБЕННОСТИ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ КУРСАНТОВ ВУЗА МВД К УСЛОВИЯМ СЛУЖЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Л.Е. Дерягина, С.В. Булатецкий

Неоднозначность процесса профессиональной адаптации вызывает постоянный интерес исследователей. Целью нашей работы было выявление особенностей физиологической и социально-психологической адаптации курсантов к условиям служебной деятельности.

Материалы и методы. *В исследовании принимали участие курсанты факультета психологии Московского университета МВД РФ им.В.Я. Кикотя в количестве 30 человек (7 юношей и 23 девушки) в возрасте от 18 до 22 лет. Уровень социально-психологической адаптации определяли по методике диагностики Роджерса-Даймонд, вегетативную регуляцию ритма сердца оценивали по параметрам вариабельности ритма сердца (ВРС) по методике Р.М. Бавевского согласно Евро-Американским рекомендациям. Исследование ВРС проводили дважды, до заступления в суточный наряд и после его окончания.*

Результаты. *Все испытуемые разделились на 3 группы по уровню адаптивности от низкого до высокого (НУ, СУ, ВУ). Умеренное преобладание симпатических влияний перед заступлением в наряд сменялось нарастанием вклада парасимпатической системы в регуляцию ритма сердца после наряда в группах НУ и СУ. В группе ВУ до наряда преобладала активация парасимпатического отдела нервной системы. После наряда наблюдался эутонический тип регуляции.*

Выводы. *1. Уровень социально-психологической адаптации курсантов взаимосвязан с паттерном вегетативной регуляции ритма сердца в ситуации суточного наряда. 2. У лиц с высоким уровнем адаптивности сформирована относительно автономная система регуляции ритма сердца, которая в силу независимости ее элементов отличается большей пластичностью, что облегчает ее приспособление к изменяющимся условиям среды, включая, приспособление к условиям служебной деятельности.*

Ключевые слова: профессия; адаптация; социально-психологическая; физиологическая; вариабельность ритма сердца

Для цитирования. Дерягина Л.Е., Булатецкий С.В. Особенности социально-психологической и физиологической адаптации курсантов вуза МВД к условиям служебной деятельности // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 193-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-193-207

FEATURES OF SOCIO-PSYCHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ADAPTATION OF CADETS OF THE UNIVERSITY OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS TO THE CONDITIONS OF SERVICE ACTIVITY

L.E. Deryagina, S.V. Bulatetskiy

Background. *The ambiguity of the professional adaptation process is of constant interest to researchers.*

Purpose. *The purpose of our work was to identify the features of physiological and socio-psychological adaptation of cadets to the conditions of service.*

Materials and methods. *The study involved cadets of the Faculty of Psychology of the Vladimir Kikot Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia in the amount of 30 people (7 men and 23 women) aged 18 to 22 years. The level of socio-psychological adaptation was determined according to the Rogers-Diamond diagnostic method, the autonomic regulation of the heart rate was assessed by the parameters of the heart rate variability (HRV) according to the method of R.M. Baevsky and Euro-American recommendations. The HRV study was carried out twice: before entering the 24-hour duty and after its completion.*

Results: *all subjects were divided into 3 groups according to the level of adaptation from low to high (LA, MA, HA). Moderate predominance of sympathetic influences before going to the duty was taking turn by the growth of the contribution of the parasympathetic system in the regulation of heart rate after the duty in the LA and MA groups. In the HA group before the duty, prevailed activation of the parasympathetic division of the nervous system. After the duty, an eutonic type of regulation was observed.*

Conclusions. *1. The level of socio-psychological adaptation of cadets is interrelated with the pattern of vegetative regulation of the heart rate in the conditions of 24-hour duty. 2. Persons with a high level of adaptability have formed a*

relatively autonomous system of regulation of the heart rhythm, which, due to the independence of its elements, is distinguished by greater plasticity, which facilitates its adaptation to changing environmental conditions, including adaptation to the conditions of service activity.

Keywords: *profession; adaptation; socio-psychological; physiological; heart rate variability*

For citation. *Deryagina L.E., Bulatetskiy S.V. Features of socio-psychological and physiological adaptation of cadets of the university of the Ministry of Internal Affairs to the conditions of service activity. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 193-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-193-207*

Профессиональная адаптация – сложный многокомпонентный процесс, включающий несколько аспектов: психологический, социологический, физиологический. Этимологически понятие «адаптация» происходит от латинского «*adaptio*» – приспособление. В широком смысле адаптация трактуется как приспособление организма к изменяющимся внешним условиям. Первоначальная трактовка адаптации как биологического процесса претерпела значительные изменения. Традиционно рассматриваются два фундаментальных уровня адаптации: физиологический и социально-психологический. Первый – физиологический – подразумевает приспособительные реакции регуляторных и исполнительных механизмов организма для поддержания гомеостатического равновесия внутренней среды. Второй – социально-психологический – определяется как процесс приобретения людьми определенного социально-психологического статуса, овладения теми или иными социально-психологическими функциями. Процесс адаптации чрезвычайно динамичен, его успешность зависит от функционального состояния, социального опыта, индивидуальных особенностей личности [11]. В процессе адаптации к службе в органах внутренних дел выделяются следующие структурные элементы: к профессии, к учреждению (органу, подразделению) и социально-бытовую адаптацию, в каждом из которых присутствуют предметный и социально-психологический аспекты [7, 17]. Курсанты вузов МВД представляют особую группу обучающихся, одновременно совмещающих учебную и служебную деятельность, при этом прослеживаются все вышеназванные структурные элементы адаптации. К специфичным условиям жизнедеятельности курсантов можно отнести: регламентированные условия быта и распорядка дня; ограничения в средствах реализации актуальных потребностей; жесткая регламентация и субординация общения с руково-

дителями и внутригруппового общения; появление новых обязанностей по несению суточных нарядов, дежурств, служб и так далее [9]. Это необходимо для подготовки курсантов к будущей сложной профессиональной деятельности [14, 17].

Не вызывает сомнения, что социально-психологическая составляющая процесса адаптации крайне важна в процессе приспособления к профессиональным особенностям любой деятельности [6]. Эти адаптивные процессы проявляются наиболее выпукло, во многих вузах вводится психологическое сопровождение деятельности [2]. Вместе с тем, физиологическая составляющая - «цена адаптации», нередко игнорируется, подменяясь констатацией заболеваемости. Исходя из теории стресса Г.Селье, к заболеваниям приводят сверхсильные и длительно действующие факторы среды. В то же время, реакция на однотипные средовые факторы отличается у лиц с различной резистентностью. Следовательно, изолированное изучение разных сторон процесса адаптации не может в полной мере отражать весь многогранный спектр приспособительных реакций. В связи с этим, комплексное изучение адаптационных процессов вызывает несомненный научный интерес.

Целью нашей работы было выявление особенностей социально-психологической и физиологической адаптации курсантов к условиям служебной деятельности.

Материалы и методы

В исследовании принимали участие курсанты факультета психологии Московского университета МВД РФ им.В.Я.Кикотя в количестве 30 человек (7 юношей и 23 девушки) в возрасте от 18 до 22 лет с 1 по 4 курсы. От всех участников исследования было получено информированное согласие. Проводился анализ успеваемости, количества поощрений и случаев заболеваний с временной утратой трудоспособности. Использовалась методика диагностики социально-психологической адаптации Роджерса-Даймонд, которая предназначена для выявления психологических реакций, сопровождающих процесс социально-психологической адаптации и иные ее показатели, такие как адаптация, интернальность, принятие других, самопринятие, эмоциональная комфортность и стремление к доминированию [12]. Вегетативную регуляцию оценивали по параметрам variability ритма сердца (BPC) по методике Р.М. Баевского, использовали устройство психофизиологического тестирования «Психофизиолог – УПФТ-1/30 (Медиком МТД – Таганрог, Россия) [1, 8, 18, 20].

Регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ) во втором стандартном отведении в положении сидя в режиме ВКМ-128 (128 кардиинтервалов) в 2 этапа: до заступления в суточный наряд и после его окончания. Оценивали показатели статистического анализа: стандартное отклонение интервала RR (СКО, мс); моду – $Mo(c)$, амплитуду моды – $Amo(\%)$, вариационный размах – ВР, индекс напряжения регуляторных систем (ИН). При спектральном анализе определяли значения мощностей высокочастотных (HighFrequency – HF, дыхательные волны) 0,4–0,15 Гц(2,5–6,5 сек.), низкочастотных (LowFrequency – LF, медленные волны 1-го порядка) 0,15–0,04 Гц(6,5–25 сек.), диапазонов согласно Евро-Американским рекомендациям [3]. По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляли индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «Statistic for Windows», версия 10.0. Нормальность распределения проверяли по тесту Shapiro-Wilk для малых выборок. Распределение практически всех показателей отличалось от нормального, для сравнения групп использовались методы непараметрической статистики (для сравнения межгрупповых данных использовался критерий Манн-Уитни для независимых выборок). Для описаний показателей в группах в качестве характеристик положения и рассеяния использовались медиана и квартили (25 и 75%). Выявление взаимосвязи показателей проводилось с помощью рангового корреляционного анализа г-Спирмена. Критический уровень значимости (p) принимался равным 0,05.

Результаты

Для анализа полученных результатов курсанты были разделены на 3 группы в зависимости от успешности учебной и служебной деятельности (рис.1), как объективных индикаторов процесса адаптации. Успешность учебной деятельности оценивали по среднему баллу успеваемости, служебной – по количеству поощрений. Кроме того, рассчитывали количество случаев заболеваний, повлекших временную нетрудоспособность. Данные параметры оценивались за весь период учебы в вузе.

Курсанты 1-й группы имели значения выше, чем во 2-й и 3-й группах по шкалам: дезадаптивность, неприятие себя и других, эмоциональный дискомфорт, внешний контроль, ведомость, однако все параметры находились в пределах нормы по интерпретации методики. Эмоциональный комфорт, принятие себя и адаптивность в этой группе были статистически значимо ниже по сравнению со 2 и 3 группами.

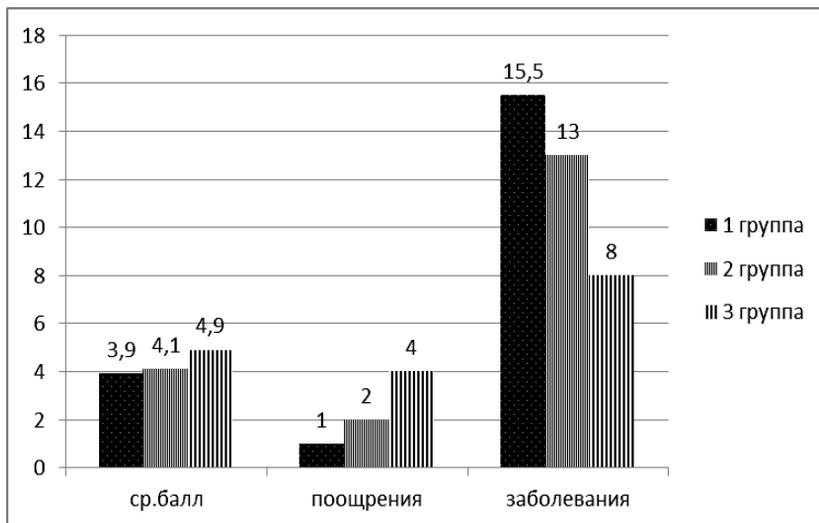


Рис. 1. Распределение на группы

Таблица 1.

Параметры социально-психологической адаптации (Me, C₂₅-C₇₅)

Характеристики	1 групп (n=8)	2 группа (n=13)	3 группа (n=9)	P
Адаптивность	133,5(112;153)	149,5(142;158)	154(149;156)	0,013 ^{1-2,3}
Дезадаптивность	78(45;90)	68,5(45;99)	72(71;74)	
Принятия себя	38,5(31;48)	50,5(44;54)	50(45;50)	0,014 ^{1-2,3}
Непринятия себя	14(13;16)	13(6;15)	10(8;11)	
Принятие других	25,5(19;27)	26,5(23,5;28,5)	27(26;27)	
Непринятие других	16(11;16)	15(11;22,5)	13(14;16)	
Эмоциональный комфорт	24,5(24;27)	27,5(23,5;31,5)	30(26;30)	
Эмоциональный дискомфорт	13(13;16)	11,5(7;22)	10(5;17)	0,040 ^{1-2,3}
Внутренний контроль	55,5(46;59)	64(61;66,5)	65(58;68)	
Внешний контроль	20(6;18)	16,5(5,5;25,5)	17(16;22)	
Доминирование	5,8(5;11)	10(8,5;11)	13(11;13)	
Ведомость	15(15;16)	13,5(5;17)	10(13;18)	
Эскапизм	13(10;14)	15(12;15,5)	13(13;16)	
Искренность	27,5(21;33)	29(26,5;32,5)	22(17;27)	

Курсанты 3-й группы имели диаметрально противоположные параметры социально-психологической адаптации. Курсанты 2-й группы занимали промежуточное положение по данным показателям. Таким образом, анализ параметров социально-психологической адаптации показал более низкий ее уровень в 1-й группе наименее успешных курсантов.

Помимо социально-психологической адаптации к служебной деятельности нами также была изучена ментальная адаптация, изучение которой проводили при помощи анализа variability ритма сердца (ВРС). Ритм сердца является общепризнанным индикатором средовых влияний на организм. Суточные наряды являются обязательными составляющими служебной деятельности курсантов, наиболее приближенными к реальным условиям службы. Измерение параметров вегетативной регуляции производилось до заступления в наряд в дневные часы и после окончания наряда в вечерние часы.

Таблица 2.

Параметры variability ритма сердца до суточного наряда (Me, C₂₅-C₇₅)

	1 группа (n=8)	2 группа (n=13)	3 группа (n=9)	p
СКО	69 (62; 78)	50,5 (36; 58)	78 (36; 141)	0,038 ¹⁻²
Mo	725 (625; 725)	700 (650; 750)	825 (725; 825)	
Амо	37,3 (33,8; 38,6)	35,8 (31,3; 44,1)	26,2 (24,2; 53,5)	
ВР	394,5 (297; 422)	230 (171,5; 261)	409 (311; 705)	0,009 ¹⁻²
ИН	68,1 (56,1; 75,7)	108,5 (79,0; 116,8)	31,8 (18,5; 73,3)	0,030 ¹⁻²
LF	53,9 (29,1; 81,9)	54,8 (28,2; 82,7)	39,2 (35,3; 64,6)	
HF	46,1(18,0; 70,9)	45,2 (17,3; 71,8)	60,8 (35,4; 64,7)	
LF/HF	1,26 (0,52; 3,03)	1,31 (0,4; 6,1)	0,6 (0,5; 1,8)	0,040 ¹⁻²
IC	1,82 (0,71; 8,05)	3,5 (0,9; 8,3)	1,3 (0,7; 2,3)	

Следует сразу оговориться, что все полученные результаты variability ритма сердца находились в пределах рекомендованных нормативных значений. Соответственно, анализ полученных данных строился на сравнении между выделенными группами курсантов.

Представленные в таблицах 2 и 3 данные иллюстрируют однотипность изменений параметров ВРС в 1 и 2 группах до и после суточного наряда. Умеренное преобладание симпатических влияний перед заступлением в наряд сменялось нарастанием вклада парасимпатической системы в регуляцию ритма сердца после наряда. При этом следует отметить, что у курсантов 2-й группы вклад симпатической системы был более выражен (СКО, ВР, ИН).

Таблица 3.

**Параметры variability ритма сердца после суточного наряда
(Me, C₂₅-C₇₅)**

	1 группа (n=8)	2 группа (n=13)	3 группа (n=9)	p
СКО	102 (85; 109)	77 (66,5; 97,5)	137 (64; 147)	0,026 ¹⁻²
Mo	925 (825; 975)	825 (800; 875)	925 (725; 975)	
Амо	26,4 (23,6; 27,6)	28,9 (24,4; 35,9)	26,4 (20; 32,3)	
BP	597,5 (384; 682)	494,5 (372; 620,5)	728 (484; 756)	
ИН	27,4 (17,8; 36,7)	43,4 (22,7; 60,9)	15,5 (14,2; 61,6)	0,026 ¹⁻²
LF	41,7 (40,2; 43,0)	40,3 (35,4; 42,8)	44,6 (34,3; 59,3)	
HF	58,3 (56,9; 59,7)	59,7 (57,2; 64,6)	55,4 (40,7; 65,7)	
LF/HF	0,71 (0,67; 0,75)	0,6 (0,5; 0,7)	0,8 (0,5; 1,5)	
IC	1,2 (0,8; 1,7)	0,9 (0,9; 1,1)	1,3 (1,0; 2,2)	

Совершенно иная картина наблюдалась в 3-й группе курсантов. Перед заступлением в наряд преобладала активация парасимпатического отдела нервной системы, что иллюстрируется индексом вагосимпатического взаимодействия LF/HF и нормализованными индексами LF и HF (табл. 2). После наряда наблюдается практически эутоническая реакция на нагрузку за счет активации симпатического отдела и снижения активности парасимпатического (табл. 3).

Проведенный корреляционный анализ выявил статистически значимые связи ($p < 0,05$) между параметрами социально-психологической адаптации и variability ритма сердца. Так, показатели «принятие других» и «эмоциональный комфорт» были отрицательно связаны с показателями ВРС, отражающими вклад симпатической системы (Амо ($r = -0,56$, $r = -0,53$), LF ($r = -0,61$, $r = -0,56$), LF/HF ($r = -0,60$, $r = -0,56$)) и положительно - с нормализованным индексом дыхательных волн (HF ($r = 0,61$, $r = 0,56$), отражающим вклад парасимпатической системы. Напротив, параметр «эмоциональный дискомфорт» имел прямо противоположные связи с параметрами ВРС (Амо ($r = 0,61$), LF ($r = 0,52$), LF/HF ($r = 0,52$), HF ($r = -0,52$)). Выявленные закономерности указывают на то, что позитивные тенденции социально-психологической адаптации сопровождаются эутонической, наиболее гармоничной регуляцией ритма сердца.

Обсуждение результатов

Полученные в нашем исследовании данные не противоречат основным постулатам теории адаптации. Воздействие однотипных средовых факто-

ров (внешних) вызывает дифференцированные реакции у лиц с различным уровнем адаптационной способности (внутренних) [13]. Под адаптационной способностью понимают способность человека приспосабливаться к различным условиям среды без ощущения внутреннего дискомфорта и без конфликта со средой [4]. Курсантам 1-й группы с более низким уровнем адаптивности свойственна неуверенность в принятии решения, сложность в достижении поставленной цели при возникновении трудностей. Самооценка неустойчивая, зависит от ситуации успеха или неудачи, однако в целом курсанты первой группы удовлетворены своими личностными качествами.

Курсантам второй группы со средним уровнем адаптивности характерно адекватное восприятие себя и своей деятельности, адекватная самооценка. Проявляется стремление к установлению социальных контактов и совместному решению поставленных задач. Курсанты, в основном, уверены в своих силах, настойчивы в достижении целей, испытывают лидерские притязания.

Для курсантов третьей группы с высоким уровнем адаптивности характерна адекватная самооценка, удовлетворенность своей деятельностью и высокий уровень достижения цели. Характерно стремление к взаимодействию с окружающими, совместной деятельности.

В нашем исследовании физиологическая составляющая процесса адаптации оценивалась по параметрам вариабельности ритма сердца, как универсального индикатора средовых влияний, чутко откликающегося на все внешние и внутренние возмущающие факторы [8]. Полученные результаты указывают на дифференцированное реагирование на ситуацию суточного наряда в зависимости от уровня адаптивности. Более энергетически затратные процессы (активация симпатического отдела) наблюдались перед заступлением в наряд у курсантов 2-й группы со средним уровнем адаптивности, что, вероятно связано с осознанием ответственности с одной стороны, и адекватной оценкой недостаточных собственных возможностей с другой стороны. В группе с низким уровнем адаптации более умеренная активация симпатического отдела свидетельствует о сниженной социальной ответственности, что проявляется в меньшей успешности учебной и служебной деятельности. Для этой группы также характерен более высокий уровень внешнего контроля. В группе с самым высоким уровнем адаптивности диаметрально противоположный паттерн регуляции на этапе заступления в наряд (более высокая активность парасимпатического отдела) указывает на имеющи-

еся функциональные резервы организма и менее затратные механизмы регуляции деятельности. Наиболее близко к исследованиям экстремальной профессиональной деятельности находятся исследования в спорте. Одним из физиологических механизмов оптимального приспособления организма к условиям спортивной деятельности является снижение степени функционального напряжения регуляторных механизмов организма, их переход на более экономичный тип работы в покое и в подготовительный период тренировочного цикла [5].

Таким образом, наши данные о более экономном паттерне регуляции в группе курсантов с высоким уровнем адаптивности согласуются с результатами успешных спортсменов. Ситуация суточного наряда в нашем исследовании является комплексной экспериментальной средой, в которой проявляются нарушение привычных циркадианных суточных ритмов [16], необходимость неукоснительного выполнения служебных обязанностей, длительное напряжение опорно-двигательного аппарата и т.д. Проблема напряжения и перенапряжения физиологических систем организма при воздействии средовых факторов особенно актуальна в условиях значительного роста социально-стрессовых ситуаций, что характерно для нашего времени [10]. Готовность выполнять служебные обязанности сопровождается дифференцированным изменением функционального состояния организма курсантов в зависимости от уровня адаптивности [15, 19], что необходимо учитывать при организации деятельности и проведении коррекционных мероприятий с группой лиц, имеющей более низкий уровень социально-психологической адаптации.

Выводы:

1. Уровень социально-психологической адаптации курсантов взаимосвязан с паттерном вегетативной регуляции ритма сердца в ситуации суточного наряда.

2. У лиц с высоким уровнем адаптивности сформирована относительно автономная система регуляции ритма сердца, которая в силу независимости ее элементов отличается большей пластичностью, что облегчает ее приспособление к изменяющимся условиям среды, включая, приспособление к условиям служебной деятельности.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Часть 1 / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин и др. // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–86. <http://www.vestar.ru/atts/1267/24baevsky.pdf>
2. Бочарская И.А. Профессиональная и социально-психологическая адаптация студентов в вузе как процесс воспитания социально-ориентированной и конкурентноспособной личности // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. 2006. № 3. С. 125-127.
3. Variability сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования / Рабочая группа Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии // Вестник аритмологии. 1999. № 11. С. 53–78. <http://www.vestar.ru/atts/2581/258101.pdf>
4. Васильева И.А. Особенности социально-психологической адаптации сотрудников спецподразделений МВД // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. №5. С.172-178.
5. Гаврилова Е.А. Variability ритма сердца и спорт // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 5. С. 121–129. <https://doi.org/10.7868/S0131164616050088>
6. Ковригина И.С. Социально-психологическая адаптация: сущность, виды и стадии формирования // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2009. № 9. С. 201-207.
7. Мальченкова В.В., Мальченков Е.В. Особенности профессиональной адаптации сотрудников полиции к профессиональной деятельности // Актуальные проблемы борьбы с преступлениями и иными правонарушениями. 2017. № 17-2. С. 160-163.
8. Михайлов В.М. Variability ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: ООО Нейрософт, 2017. 516 с.
9. Нежкина Л.Ю., Ярославцева И.В. Личностные и деловые качества сотрудников органов внутренних дел как факторы профессиональной адаптации // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2016. №3 (71). С. 72-77.
10. Прокопенко Н.А. Влияние индивидуальных особенностей личности на variability ритма сердца у женщин разного возраста при эмоциональном воздействии // Успехи геронтологии. 2011. Т. 24, № 3. С. 498–504.
11. Степанова О.Н. Мотивационный компонент в структуре профессиональной адаптации сотрудников УИС // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. №5. С.168-172.

12. Фетискин Н.П., Козлов В.В., Мануйлов Г.М. Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп. М.: Изд-во Института психотерапии, 2002. С.193-197.
13. Чугайнова О.Г. Проблемы профессиональной адаптации молодых специалистов // Наука в современном мире: теория и практика. 2015. № 1 (3). С. 46-52.
14. Arble E., Daugherty A.M., Arnetz B.B. Models of first responder coping: Police officers as a unique population // Stress Health. 2018. Vol. 34, No 5. P. 612-621. <https://doi.org/10.1002/smi.2821>
15. Hartley T.A., Violanti J.M., Mnatsakanova A., Andrew M.E., Burchfiel C.M. Military experience and levels of stress and coping in police officers // Int J Emerg Ment Health. 2013. Vol. 15, No 4. P. 229-39.
16. Nevels T.L., Burch J.B., Wirth M.D., Ginsberg J.P., McLain A.C., Andrew M.E., Allison P., Fekedulegn D., Violanti J.M. Shift Work Adaptation Among Police Officers: The BCOPS Study // Chronobiol Int. 2021. Vol. 30. P. 1-17. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1895824>
17. Sherwood L., Hegarty S., Vallières F., Hyland P., Murphy J., Fitzgerald G., Reid T. Identifying the Key Risk Factors for Adverse Psychological Outcomes Among Police Officers: A Systematic Literature Review // J Trauma Stress. 2019. Vol. 32, No 5. P. 688-700. <https://doi.org/10.1002/jts.22431>
18. Strahler J., Ziegert T. Psychobiological stress response to a simulated school shooting in police officers // Psychoneuroendocrinology. 2015. Vol. 51. P. 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.09.016>
19. Schilling R., Herrmann C., Ludyga S., Colledge F., Brand S., Pühse U., Gerber M. Does Cardiorespiratory Fitness Buffer Stress Reactivity and Stress Recovery in Police Officers? A Real-Life Study // Front Psychiatry. 2020, Vol. 11. P. 594. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00594>
20. Thayer J.F., Hansen A.L., Saus-Rose E., Johnsen B.H. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health // Ann Behav Med. 2009. Vol. 37. No 2. P. 141-153. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>

References

1. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V. et al. *Vestnik aritmologii*, 2001, no. 24, pp. 65–86. <http://www.vestar.ru/atts/1267/24baevsky.pdf>
2. Bocharskaya I.A. Professional'naya i sotsial'no-psikhologicheskaya adaptatsiya studentov v vuze kak protsess vospitaniya sotsial'no-orientirovannoy i

- konkurentnosposobnoy lichnosti [Professional and socio-psychological adaptation of students at a university as a process of upbringing a socially-oriented and competitive personality]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta kul'tury i iskusstv*, 2006, no. 3, pp. 125-127.
3. Variabel'nost' serdechnogo ritma. Standarty izmereniya, fiziologicheskoy interpretatsii i klinicheskogo ispol'zovaniya / Rabochaya gruppa Evropeyskogo kardiologicheskogo obshchestva i Severo-Amerikanskogo obshchestv stimulyatsii i elektrofiziologii [Heart rate variability. Standards for Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use / Working Group of the European Society of Cardiology and the North American Societies of Stimulation and Electrophysiology]. *Vestnik aritmologii*, 1999, no. 11, pp. 53–78. <http://www.vestar.ru/atts/2581/258101.pdf>
 4. Vasil'eva I.A. Osobennosti sotsial'no-psikhologicheskoy adaptatsii sotrudnikov spetspodrazdeleniy MVD [Features of social and psychological adaptation of employees of special forces of the Ministry of Internal Affairs]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 5, pp. 172-178.
 5. Gavrilova E.A. Variabel'nost' ritma serdtsa i sport [Heart rate variability and sport]. *Fiziologiya cheloveka*, 2016, vol. 42, no. 5, pp. 121–129. <https://doi.org/10.7868/S0131164616050088>
 6. Kovrigina I.S. Sotsial'no-psikhologicheskaya adaptatsiya: sushchnost', vidy i stadii formirovaniya [Socio-psychological adaptation: essence, types and stages of formation]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2009, no. 9, pp. 201-207.
 7. Mal'chenkova V.V., Mal'chenkov E.V. Osobennosti professional'noy adaptatsii sotrudnikov politzii k professional'noy deyatel'nosti [Features of professional adaptation of police officers to professional activities]. *Aktual'nye problemy bor'by s prestupleniyami i inymi pravonarusheniyami*, 2017, no. 17-2, pp. 160-163.
 8. Mikhaylov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyy vzglyad na staruyu paradigmatu)* [Heart rate variability (a new look at the old paradigm)]. Ivanovo: Neurosoft, 2017, 516 p.
 9. Nezhkina L.Yu., Yaroslavtseva I.V. Lichnostnye i delovye kachestva sotrudnikov organov vnutrennikh del kak faktory professional'noy adaptatsii [Personal and business qualities of employees of internal affairs bodies as factors of professional adaptation]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii*, 2016, no. 3 (71), pp. 72-77.
 10. Prokopenko N.A. Vliyaniye individual'nykh osobennostey lichnosti na variabel'nost' ritma serdtsa u zhenshchin raznogo vozrasta pri emotsional'nom vozdeystvii [Influence of individual personality traits on heart rate variability in

- women of different ages with emotional impact]. *Uspekhi gerontologii*, 2011, vol. 24, no. 3, pp. 498–504.
11. Stepanova O.N. Motivatsionnyy komponent v strukture professional'noy adaptatsii sotrudnikov UIS [Motivational component in the structure of professional adaptation of UIS employees]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 5, pp. 168-172.
 12. Fetiskin N.P., Kozlov V.V., Manuylov G.M. *Sotsial'no-psikhologicheskaya diagnostika razvitiya lichnosti i malykh grupp* [Socio-psychological diagnostics of the development of personality and small groups]. M.: Institute of Psychotherapy Publ., 2002, pp. 193-197.
 13. Chugaynova O.G. Problemy professional'noy adaptatsii molodykh spetsialistov [Problems of professional adaptation of young specialists]. *Nauka v sovremenom mire: teoriya i praktika*, 2015, no. 1 (3), pp. 46-52.
 14. Arble E., Daugherty A.M., Arnetz B.B. Models of first responder coping: Police officers as a unique population. *Stress Health*, 2018, vol. 34, no. 5, pp. 612-621. <https://doi.org/10.1002/smi.2821>
 15. Hartley T.A., Violanti J.M., Mnatsakanova A., Andrew M.E., Burchfiel C.M. Military experience and levels of stress and coping in police officers. *Int J Emerg Ment Health*, 2013, vol. 15, no. 4, pp. 229-39.
 16. Nevels T.L., Burch J.B., Wirth M.D., Ginsberg J.P., McLain A.C., Andrew M.E., Allison P., Fekedulegn D., Violanti J.M. Shift Work Adaptation Among Police Officers: The BCOPS Study. *Chronobiol Int.*, 2021, vol. 30, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1895824>
 17. Sherwood L., Hegarty S., Vallières F., Hyland P., Murphy J., Fitzgerald G., Reid T. Identifying the Key Risk Factors for Adverse Psychological Outcomes Among Police Officers: A Systematic Literature Review. *J Trauma Stress*, 2019, vol. 32, no. 5, pp. 688-700. <https://doi.org/10.1002/jts.22431>
 18. Strahler J., Ziegert T. Psychobiological stress response to a simulated school shooting in police officers. *Psychoneuroendocrinology*, 2015, vol. 51, pp. 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.09.016>
 19. Schilling R., Herrmann C., Ludyga S., Colledge F., Brand S., Pühse U., Gerber M. Does Cardiorespiratory Fitness Buffer Stress Reactivity and Stress Recovery in Police Officers? A Real-Life Study. *Front Psychiatry*, 2020, vol. 11, pp. 594. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00594>
 20. Thayer J.F., Hansen A.L., Saus-Rose E., Johnsen B.H. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Ann Behav Med.*, 2009, vol. 37, no. 2, pp. 141-153. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Дерягина Лариса Евгеньевна, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры психологии

Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя

*ул. Академика Волгина, 12, г. Москва, 117437, Российская Федерация
lderyagina@mail.ru*

Булатецкий Сергей Владиславович, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры патофизиологии

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова

*ул. Высоковольтная, 9, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
dr_bsv@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Larissa E. Deryagina, Dr. Sc. (Medicine), Professor, Professor of the Department of Psychology

*Kikot Moscow University of the Ministry of the Interior of Russia
12, Academician Volgin Str., Moscow, 117437, Russian Federation
lderyagina@mail.ru*

SPIN-code: 6606-6628

ORCID: 0000-0001-5522-5950

ResearcherID: N - 5766-2015

Sergey V. Bulatetskiy, Dr. Sc. (Medicine), Associate Professor, Professor of the Department of Pathophysiology

*Ryazan State Medical University
9, Ysokovoltnaja Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
dr_bsv@mail.ru*

SPIN-code: 2756-9179

ORCID: 0000-0002-6023-7523

ResearcherID: S-1631-2016

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-208-224

UDC [631.8:635]:58

ASSESSMENT OF MINERAL NUTRIENT IMPACT ON METABOLITES ACCUMULATION IN KALE (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *SABELLICA*)

J.D. Anteh, O.A. Timofeeva, A.A. Mostyakova

*Green leafy kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) has huge scientific attention because of its health-promoting functionality. In the present study the impact of NPK, energen, biostim and humate on flavonoid, phenolic compounds, vitamin C, carotenoids, malondialdehyde (MDA), protein, proline and soluble sugar in kale was investigated. The mineral nutrients mostly increased but in some cases maintained the studied metabolites. The stimulatory effect of applied mineral nutrients on the phytochemicals analyzed varied with the different combinations of macro and microelements. Lipid peroxidation was minimized in leaves treated with mineral nutrients hence a reduction in MDA levels. Contrary to the correlation between nitrogen deficiency and increase in polyphenol and vitamin C content in plants, NPK and biostim did not reduce phenolic compound levels. The results of this study showed that NPK maximized the synthesis of vitamin C and proline; energen - phenolic compounds, carotenoids and sugar; biostim – phenolic compounds, proteins and sugar; humate – flavonoids and sugar in curly kale. Therefore, the type of macronutrient and micronutrients combination increases phytochemicals in differently. To enhance the synthesis of phenolic compounds and vitamins, the most promising additives are those containing humic acids (humate and energen), and biostim proved to be more effective for the synthesis of proteins.*

Background. *The understanding of how diet affects the incidence or treatment of disease has led to a rise in consumer's demand for functional foods as well as created the market for natural sources of health benefitting compounds rather than the synthetic sources. Curly kale has gained scientific attention as a functional food because it contains higher levels of phytochemicals than most vegetables. These phytochemicals have shown antioxidant, antimutagenic, cytotoxic, antifungal, and antiviral activities. However, the content levels of these metabolites are influenced by not only genetic but environmental factors. It was of interest to evaluate how various mineral nutrients can elicit the accumulation of these compounds that minimize the risk of chronic diseases or aid in their treatment.*

Purpose. Evaluate how the mineral nutrients, NPK, energen, biostim and humate affect the content of metabolites (proteins, sugars, flavonoids, phenolic compounds, vitamin C, carotenoids, MDA and proline) in curly kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*).

Materials and methods. Sprouts from kale seed kept wet in a Petri dish for 7 days were transferred to the field. At 6 weeks old four mineral nutrients (NPK, energen, humate and biostim) were added to the soil. Control variants were treated with water. A week later, the leaves were harvested after which, the phenolic compound, flavonoid, protein, sugar, vitamin C, carotenoid, MDA and proline contents were determined using spectrophotometric methods.

Results. It was shown that humate fertilizer elicited the highest accumulation of flavonoids. Kale plants fertilized with energen were observed to have the highest phenolic compound content. NPK, energen and humate caused a similarly positive effect on vitamin C content in leaves, unlike biostim whose effect did not significantly differ from control plants. Energen treated kale had the highest increment of carotenoids. A varied reduction of MDA levels in plants treated with all four mineral nutrients was observed in kale leaves. Plants fertilized with biostim accrued the highest protein content in leaves. Proline content increased under the influence of all fertilizers studied. Sugar levels for all kale plants treated with the studied mineral nutrients were enhanced equally

Conclusion. Macro and microelements supplied by mineral nutrients differentially boost the biosynthesis of health-promoting metabolites in curly kale, thereby enhancing its quality.

Keywords: *Brassica*; kale; mineral nutrients; proteins; sugar; proline; MDA; flavonoids; phenolic compounds; vitamin C; carotenoids

For citation. Anteh J.D., Timofeeva O.A., Mostyakova A.A. Assessment of mineral nutrient impact on metabolites accumulation in kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 208-224. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-208-224

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ НА НАКОПЛЕНИЕ МЕТАБОЛИТОВ В КАПУСТЕ КЕЙЛ (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *SABELLICA*)

Д.Д. Антех, О.А. Тимофеева, А.А. Мостякова

Зеленая листовая капуста кейл (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) привлекает огромное научное внимание благодаря своей полезной для здоровья функциональности. В настоящем исследовании изучалось, как NPK, энеген, биостим

и гумат влияют на содержание флавоноидов, фенольных соединений, витамина С, каротиноидов, малонового диальдегида (МДА), белков, пролина и растворимых сахаров в капусте кейл. Минеральные питательные вещества в основном увеличились, но в некоторых случаях сохраняли содержание изученных метаболитов. Стимулирующее действие применяемых минеральных питательных веществ на анализируемые фитохимические вещества различное в зависимости от различных комбинаций макро- и микроэлементов. Перекисное окисление липидов было сведено к минимуму в листьях, обработанных минеральными питательными веществами, что привело к снижению уровня МДА. Вопреки корреляции между дефицитом азота и увеличением содержания полифенолов и витамина С в растениях, NPK и биостим не снижали уровень фенольных соединений. Результаты этого исследования показали, что NPK увеличивает синтез витамина С и пролина; энерген – фенольных соединений, каротиноидов и сахара; биостим – фенольных соединений, белков и сахара; гумат – флавоноидов и сахара в кудрявой капусте кейл. Таким образом, тип макронутриентов и комбинация макронутриентов по-разному увеличивает фитохимические вещества. Для усиления синтеза фенольных соединений и витаминов наиболее перспективны добавки, содержащие гуминовые кислоты (гумат и энерген), биостим оказался более эффективным для синтеза белков.

Состояние вопроса. Широко известно, как диета влияет на заболеваемость или лечение заболеваний. Это понимание привело к росту потребительского спроса на функциональные продукты питания, а также создало рынок для натуральных источников полезных для здоровья соединений, а не синтетических источников. Кудрявая капуста кейл привлекла внимание ученых как функциональная пища, потому что она содержит более высокий уровень фитохимических веществ, чем большинство овощей. Эти фитохимические вещества проявляют антиоксидантную, антимутагенную, цитотоксическую, противогрибковую и противовирусную активность. Однако на уровень содержания этих метаболитов влияют не только генетические, но и экологические факторы. Было интересно оценить, как различные минеральные питательные вещества могут вызывать накопление этих соединений, которые уменьшают риск хронических заболеваний или помогают в их лечении.

Цель работы – оценить, как минеральные питательные вещества, NPK, энерген, биостим и гумат влияют на содержание метаболитов (белков, сахаров, флавоноидов, фенольных соединений, витамина С, каротиноидов, МДА и пролина) в кудрявой капусте кейл (*Brassica oleracea* var. *sabellica*).

Материал и методы. Проростки из семян капусты, выдержанные влажными в чашке Петри в течение 7 дней, были перенесены в поле. На 6-ой недели,

в почву были добавлены четыре минеральных питательных вещества (NPK, *energen*, *гумат* и *biostim*). Контрольные варианты обрабатывали водой. Через неделю листья собирали и определяли содержание фенольных соединений, флавоноидов, белка, сахара, витамина С, каротиноидов, МДА и пролина спектрофотометрическими методами.

Результаты. Было показано, что *гумат* вызывал наибольшее накопление флавоноидов. Было отмечено, что растения капусты кейл, обработанные *энергеном*, имели самое высокое содержание фенольных соединений. NPK, *энерген* и *гумат* аналогично оказывали положительное влияние на содержание витамина С в листьях, в отличие от *биостима*, эффект которого существенно не отличался от контрольных растений. У капусты кейл, обработанной *энергеном*, был самый высокий прирост содержания каротиноидов. В листьях капусты кейл наблюдалось различное снижение уровня МДА у растений, обработанных всеми четырьмя минеральными питательными веществами. Растения, удобренные *биостимом*, имели самое высокое содержание белка в листьях. Содержание пролина повышалось под влиянием всех изученных удобрений. Уровень сахара для всех растений капусты, обработанных изученными минеральными питательными веществами, был одинаково повышен.

Заключение. Макро- и микроэлементы, поставляемые минеральными питательными веществами, дифференцированно повышают биосинтез полезных для здоровья метаболитов в кудрявой капусте, тем самым повышая ее качество.

Ключевые слова: *Brassica*; капуста кейл; минеральные питательные вещества; белки; сахар; пролин; МДА; флавоноиды; фенольные соединения; витамин С; каротиноиды

Для цитирования. Антех Д.Д., Тимофеева О.А., Мостякова А.А. Оценка влияния минеральных питательных веществ на накопление метаболитов в капусте кейл (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 208-224. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-208-224

Introduction

The rise in consumer's demand for quantity and quality of natural sources of health benefitting compounds due to concerns about the side effects of synthetic drugs, fuels effort in increasing the quantity as well as the nutritional value of curly kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). Improving crop cultivation practices has gained unprecedented importance as one of the breakthroughs to address this issue.

Nutrients are primarily considered as food components that either cannot be synthesized in the body or whose formation require some specific factors that may in some situations be insufficient or absent. The different health benefitting organic compounds are products of both primary and secondary metabolism in plants.

Primary metabolites are found across all species within broad phylogenetic groups and are produced using the same or similar biochemical pathways. Secondary metabolites determine the colour of vegetables, protect plants against herbivores and microorganisms, attract pollinators and seed-dispersing animals, and act as signal molecules under biotic and abiotic stress conditions [5].

It is widely recognized that other biochemical compounds in plants, such as flavonoids, phenolic acids, and glucosinolates are associated with minimizing the incidence of diseases. A large number of phytochemicals capable of antioxidant, antimutagenic, cytotoxic, antifungal, and antiviral activities have been identified in kale and other Brassica plants [14]. Curly kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*), compared to other leafy vegetables, such as mustard greens and collard greens, rocket salads, lettuce, etc. is more nutritionally and functionally important for human health as it contains higher levels of metabolites that prevent or minimize the risk of some chronic diseases [28].

Since the level of biochemical components of kale can be influenced by biotic and abiotic factors, it was important to evaluate how the mineral nutrients, NPK, energen, biostim and humate affect the content of metabolites (proteins, sugars, flavonoids, phenolic compounds, vitamin C, carotenoids, MDA and proline) in curly kale.

NPK as a mineral nutrient supplies nitrogen to promote leaf growth, phosphate for root, flower and fruit enhancement, and potassium for stem & root growth in plants [25]. Humate supplies potassium humate and micronutrients essential for plant growth and soil fertility enhancement [29]. Energen is made up of potassium humate salts and trace elements which enhances plant growth as well as other ranges of physiological functions [18, 21]. Biostim increases plant's resistance to drought and increases crop yield by supplying a balanced composition of nitrogen, potassium, sulphate and amino acids [19].

Materials and Methods

Kale sprouts from seed which were moistened with water and kept in a Petri dish for 7 days, were planted in the fields at the Kazan Federal University botanical garden in June 2020. A week after treating 6-weeks-old kale plants with NPK 15-15-20 applied at 20kg/ha, energen (K salts of humic acids and

trace elements, 80g/l), biostim (a mixture of macro - and microelements, 1l/ha), and humate (K- salts of humic acids and microelements, 80g/l), the leaves were collected to determine the content level of vitamin C, MDA, flavonoids, carotenoids, phenolic compound, proteins, proline and sugar. Control plants were treated with water.

Using the aluminium chloride colourimetric method [23] with little modifications, flavonoids (quercetin) were determined. Phenolic compounds were determined by the modified Folina of Ciocalteu method [20]. Measurement was done at 725 nm and results were expressed in gallic acid equivalent. Determination of Vitamin C was done by the summation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid using potassium hexacyanoferrate solution at the absorbance value of 680 nm [12]. The content of carotenoids was calculated using the modified spectrophotometric method of Costache et. al. [6]. The content of MDA was evaluated by the accumulation level of the product formed from the reaction of malondialdehyde and thiobarbituric acid [26]. By the modified Lowry method, protein content was calculated [16]. Determination of sugar was done by the modified anthrone method [10]. Proline content level was determined by methods in the publication of [26].

Experiments were carried out in three biological repeats. The statistical analysis was performed using the GraphPad prism program, v. 8.4. The significance of the mean was determined using the one-way analysis of variance method with subsequent unpaired t-test for pairwise comparison (significance difference was estimated at $P < 0.05$).

Results and discussion

Curly kale is perceived to be a very promising leafy green food product, which promotes health due to its high phytochemical composition. In this study, the possibility of increasing the content of health-enhancing biochemical compounds in curly kale was observed.

Quercetin one of the most ubiquitous flavonoids in kale that is a potent free radical scavenger, and is thus considered to protect humans against several types of cancer and cardiovascular diseases [7]. NPK, energen and humate increased the content of flavonoids. Humate had the greatest effect on the content of flavonoids (Fig. 1). Flavonoid levels in biostim treated plants did not significantly differ from the controls.

It was important to assess the effect of the studied mineral nutrients on phenolic compound content as it is one of the major antioxidants in *Brassica* vegetables which accounts for more than 70% of their total antioxidant capacity[17].

According to our results the mineral fertilizers, especially energen increased the phenolic compound levels (Fig. 2).

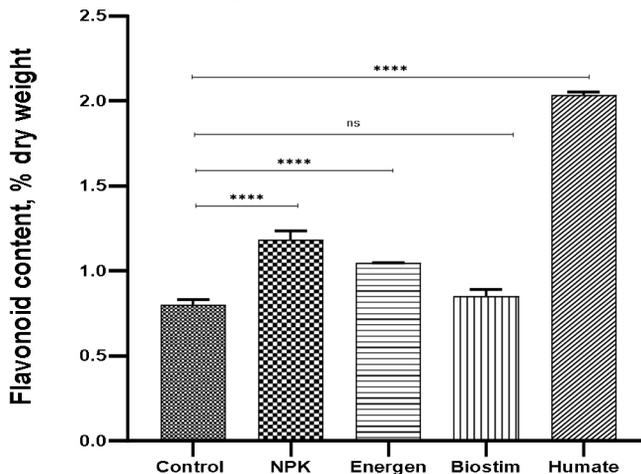


Fig. 1. The influence of various mineral nutrients on flavonoids in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ns, ****symbolize $P > 0.05$ and $P \leq 0.0001$, respectively. Source: «Compiled by the authors».

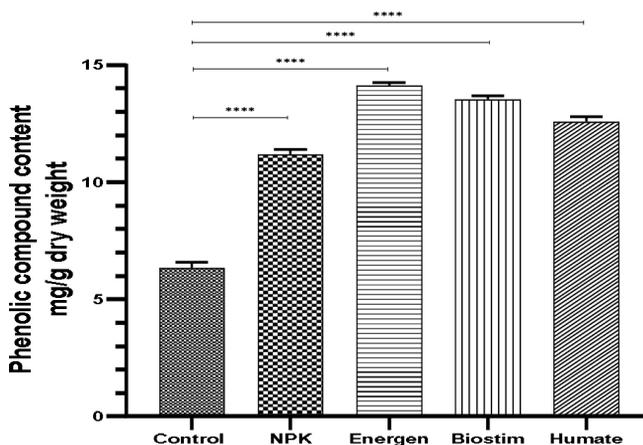


Fig. 2. The influence of various mineral nutrients on phenolic compounds in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ****, symbolizes $P \leq 0.0001$, respectively. Source: «Compiled by the authors».

Ascorbic acid is a major nutrient and antioxidant in vegetables. Cruciferous vegetables, especially kale, are a good source of ascorbic acid for the diet [4]. NPK, energen and humate approximately had an equally positive effect on vitamin C content, while biostim's effect did not cause a rise (Fig. 3).

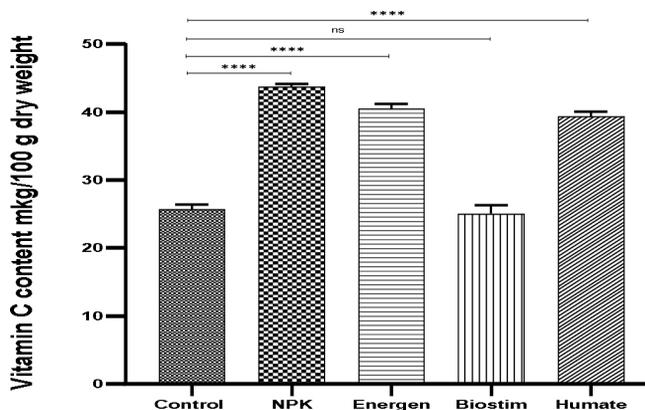


Fig. 3. The influence of various mineral nutrients on vitamin C in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ns, and **** symbolize $P \leq 0.0001$, respectively. Source: «Compiled by the authors».

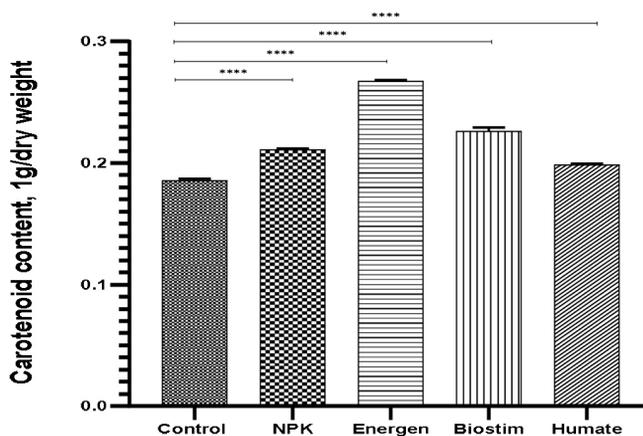


Fig. 4. The influence of various mineral nutrients on carotenoids in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ****, symbolizes $P \leq 0.0001$, respectively. Source: «Compiled by the authors».

Carotenoids, as accessory pigments in the light-harvesting steps of photosynthesis, play an important role in the human diet by virtue of their metabolism to vitamin A. It exhibits high antioxidant properties and is one of the major classes of phytochemicals found in kale [2]. As observed in Fig. 4, carotenoids increased variably for all fertilized plants with energen treated kale having the highest level of pro-vitamin A (Fig. 4).

Malondialdehyde (MDA) is a reliable biomarker of lipid peroxidation and membrane damage [8]. NPK, energen, biostim and humate effectively reduced this product of biomembrane deterioration in curly kale (Fig. 5).

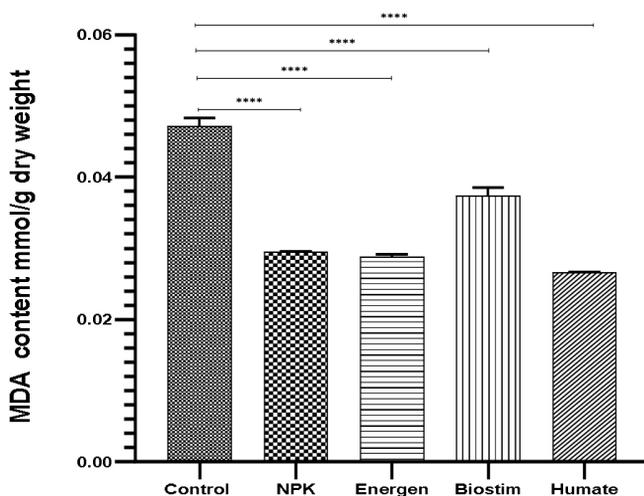


Fig. 5. The influence of various mineral nutrients on malondialdehyde in kale *Brassica oleracea var. sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals.

Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ****, symbolizes $P \leq 0.0001$, respectively. Source: «Compiled by the authors».

Characterized as a protein-rich green matrix, kale has a beneficial nutritional composition and potential health benefits [3]. With the exception of energen treated plants whose protein content did not differ from the controls, NPK, biostim and humate had a rising effect on kale's protein level (Fig. 6).

Proline enhances plants' adaptability to environmental stress via osmotic adjustment. An increase in proline content is beneficial to plants' resistance to stress [9]. According to our data, proline content increased under the impact of all fertilizers studied (Fig. 7).

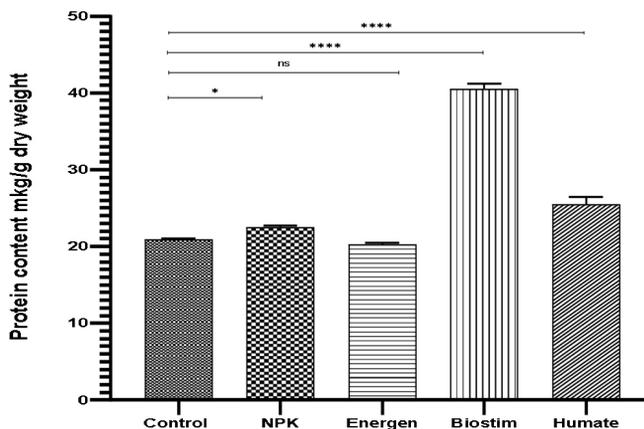


Fig. 6. The influence of various mineral nutrients on proteins in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ns, * and ****, symbolize $P > 0.05$, $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.0001$, respectively. *Source:* «Compiled by the authors».

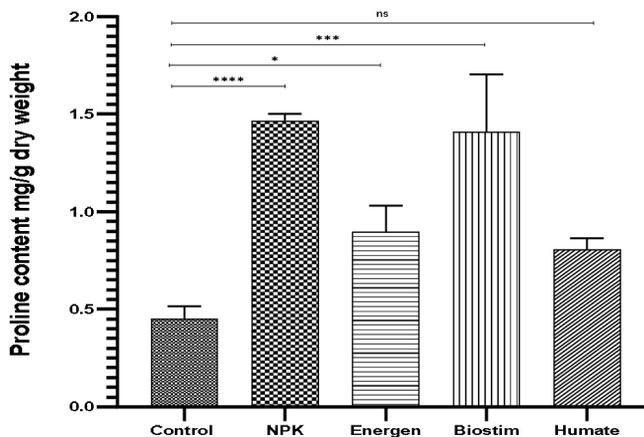


Fig. 7. The influence of various mineral nutrients on proline content in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. ns, *, ***, ****, symbolize $P > 0.05$, $P \leq 0.05$, $P \leq 0.001$, and $P \leq 0.0001$, respectively. *Source:* «Compiled by the authors».

Sugar does not only enhance the taste of kale but helps reduce the cell's osmotic potential, thereby minimizing water loss [11]. Sugar levels for all kale plants treated with the studied mineral nutrients were enhanced equally.

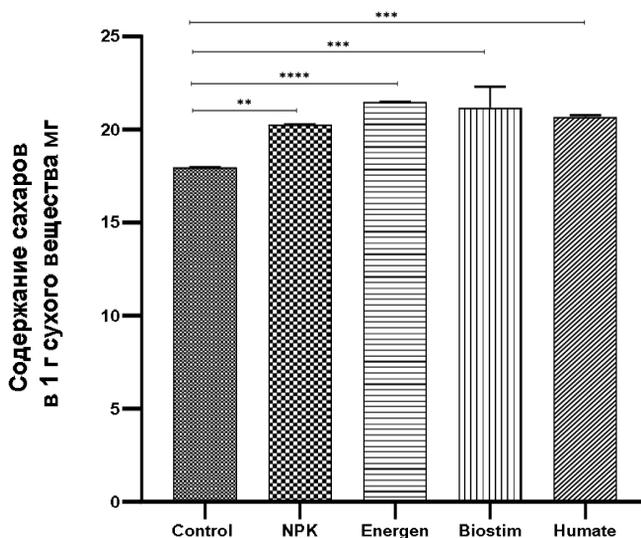


Fig. 8. The influence of various mineral nutrients on sugar content in kale *Brassica oleracea* var. *sabellica* (L.). Error bars signify 95% confidence intervals. Pairwise comparison was conducted using student's t-test. **, *** and ****, symbolize $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$, and $P \leq 0.0001$, respectively. *Source:* «Compiled by the authors».

The biosynthesis of polyphenols (phenolic compounds and flavonoids) in plants from phenylalanine/tyrosine in a shikimate pathway is greatly influenced by the availability of macronutrients and micronutrient supply. Expression of chalcone synthase (CHS) the primary enzyme that produces an intermediate used in flavonoid synthesis is triggered by the macro and microelements in the fertilizers applied to our sample of the study. Some scientific researches show that polyphenols' content increases in response to phosphorus and nitrogen deficiency in plants [15]. However, the positive effect of nitrogen deficiency on phenol levels in plants accompanied by an increase in phenylalanine ammonia-lyase activity happens only in the case of prolonged nitrogen depletion due to inhibition of primary metabolism. In the fields, lack or excess of nitrogen may be assuaged or accentuated by climate conditions. For these reasons, different authors will observe varied effect of nitrogen on the accrual of phenolic compounds content [22]. This could account for the reason why in our research, we observed an increase in the content of flavonoids and soluble phenolic compounds when kale was treated with the mineral nutrient NPK as well as Biostim increasing phenolic compound content.

Some works reveal that nitrogen fertilizers decrease vitamin C levels in leafy vegetables. At the same time, other experiments on Brassica plants have shown that depending on the plant type, a decrease, an increase, or no effect in vitamin C levels occurs with nitrogen increase. In the case of kale, the optimal dose for the highest amounts of vitamin C was from 0.6 to 1.2 g N per dm^{-3} [13]. The nitrogen content of our fertilizer corresponds to 0.6 g / dm^{-3} , which is consistent with the literature data. In light of this connection, it seems that a stimulating effect of this supplement on the content of vitamin C was observed. Potassium actively participates in cellular and physiological processes such as osmotic adjustment, enzyme functioning, cation-anion balance, detoxification of ROS and protein synthesis. The presence of potassium in NPK, humate energen and biostim may have synergetically induced the variable rise in carotenoid, protein and proline content in curly kale. Wang et. al [27] in their research explain that potassium helps in regulating the amounts of chlorophyll levels by preventing its decomposition. Protein synthesis is triggered by potassium treatment. A similar increase in proline levels in Brassica juncea by potassium treatment was observed by Yousuf et al [30].

During our study, all mineral nutrient treatments lowered MDA content, signifying their involvement in the accumulation of ROS scavenging molecules that limit membrane damage associated with lipid peroxidation. Our results agree with the findings of Ahmad et. al [1] who observed reduced levels of MDA in broad bean under the effect of potassium.

The positive effect of humate, energen, and biostim which contain several trace elements is probably associated with the activation of enzymes involved in the synthesis of the studied compounds.

In our experiment, soluble sugar content in kale fertilized with the studied mineral nutrients slightly increased. This is coherent with the observation by Sung et. al [24] in a research that soluble sugar in nitrogen, phosphorous, or potassium deficient plants was present at concentrations several times higher compared to NPK sufficiency.

The type of macronutrients and micronutrient combination differentially increases the phytochemicals. To enhance the synthesis of phenolic compounds and vitamins, additives containing humic acids (humate and energen) are most promising. At the same time, energen exerted a stronger influence, in comparison with humate, on the formation of these compounds, possibly due to silicon. Biostim proved to be more efficient for protein synthesis. Therefore, it is assumed that the type of mineral processing used in growing kale will determine its nutritional value.

Conclusions

Our data establish that mineral nutrients supply macro and microelements which differentially enhance the synthesis of health-promoting metabolites in curly kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) thus improving its quality and medicinal value.

Conflict of interest information. The authors assert that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. This work was executed in accordance with the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan (Volga Region) Federal University.

References / Список литературы

1. Ahmad P., Abdel Latif A.A., Abd Allah E.F., Hashem A., Sarwat M., Anjum N.A., Gucel S. Calcium and potassium supplementation enhanced growth, osmolyte secondary metabolite production, and enzymatic antioxidant machinery in cadmium-exposed chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 2016, vol. 7, pp. 513. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00513>
2. Akdaş Z.Z., Bakkalbaşı E. Influence of different cooking methods on color, bioactive compounds, and antioxidant activity of kale. *International Journal of Food Properties*, 2017, vol. 20, no. 4, pp. 877-887. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1188308>
3. Berndtsson E., Nynäs A.L., Newson W., Langton M., Andersson R., Johansson E., Olsson M.E. The underutilised side streams of broccoli and kale – valorisation via proteins and phenols. *Sustainable governance and management of food systems: Ethical perspectives*. Wageningen Academic Publishers, 2019, pp. 74-81. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-892-6_21
4. Casajús V., Perini M., Ramos R., Lourenco A.B., Salinas C., Sánchez E., Fanello D., Civello P., Frezza D., Martínez G. Harvesting at the end of the day extends postharvest life of kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Scientia Horticulturae*, 2021, vol. 276, 109757. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109757>
5. Chang J., Wang M., Jian Y., Zhang F., Zhu J., Wang Q., Sun B. Health-promoting phytochemicals and antioxidant capacity in different organs from six varieties of Chinese kale. *Scientific reports*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56671-w>
6. Costache M.A., Campeanu G.H., Neata G. Studies concerning the extraction of chlorophyll and total carotenoids from vegetables. *Romanian Biotechnological Letters*, 2012, vol. 17, no. 5, pp.7702-7708.

7. Dabeek W.M., Marra M.V. Dietary quercetin and kaempferol: Bioavailability and potential cardiovascular-related bioactivity in humans. *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 10, pp. 2288. <https://doi.org/10.3390/nu11102288>
8. Hafez Y., Attia K., Alamery S., Ghazy A., Al-Doss A., Ibrahim E., Rashwan E., El-Maghraby L., Awad A., Abdelaal K. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agronomy*, 2020, vol. 10, no. 5, pp. 630. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050630>
9. Han Y., Fan S., Zhang Q., Wang Y. Effect of heat stress on the MDA, proline and soluble sugar content in leaf lettuce seedlings. *Agricultural sciences*, 2013, vol. 4, no. 5B, pp. 112. <https://doi.org/10.4236/as.2013.45B021>
10. Jurkow R., Wurst A., Kalisz A., Sekara A., Cebula S. Cold stress modifies bioactive compounds of kale cultivars during fall-winter harvests. *Acta Agrobotanica*, 2019, vol. 72, no. 1, pp. 14. <https://doi.org/10.5586/aa.1761>
11. Kang J.H., Woo H.J., Park J.B., Chun H.H., Park C.W., Song K.B. Effect of storage in pallet-unit controlled atmosphere on the quality of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. spp. *pekinensis*) used in kimchi manufacturing. *LWT*, 2019, vol. 111, pp. 436-442. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.069>
12. Kapusta-Duch J., Kusznierewicz B., Leszczyńska T., Borczak B. Effect of Culinary Treatment on Changes in the Contents of Selected Nutrients and Non-Nutrients in Curly Kale (*Brassica oleracea* Var. *acephala*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 2016, vol. 40, no. 6, pp. 1280-1288. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12713>
13. Łata B. Variability in enzymatic and non-enzymatic antioxidants in red and green-leafy kale in relation to soil type and N-level. *Scientia Horticulturae*, 2014, vol. 168, pp. 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.009>
14. Li X., Zhang L., Ahammed G.J., Li Z.X., Wei J.P., Shen C., Yan P., Zhang L.P., Han W.Y. Stimulation in primary and secondary metabolism by elevated carbon dioxide alters green tea quality in *Camellia sinensis* L. *Scientific reports*, 2017, vol. 7, no. 1, 7937. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08465-1>
15. Lillo C., Lea U.S., Ruoff P. Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. *Plant, cell & environment*, 2008, vol. 31, no. 5, pp. 587-601. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01748.x>
16. Mæhre H.K., Dalheim L., Edvinsen G.K., Elvevoll E.O., Jensen I.J. Protein determination – method matters. *Foods*, 2018, vol. 7, no. 1, pp. 5. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>
17. Murador D.C., Mercadante A.Z., de Rosso V.V. Cooking techniques improve the levels of bioactive compounds and antioxidant activity in kale and red cab-

- bage. *Food chemistry*, 2016, vol. 196, pp. 1101-1107. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.037>
18. Pandey, N. Role of plant nutrients in plant growth and physiology. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Singapore, 2018, pp. 51-93.
 19. Polukhin, A. A., Bobkova, J. A., Sycheva, I. V., Golovina, L. A. Key directions for improving the efficiency of leguminous crops cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 650, no. 1, 012082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012082>
 20. Sadowska A., Świdorski F., Rakowska R., Hallmann E. Comparison of quality and microstructure of chokeberry powders prepared by different drying methods, including innovative fluidised bed jet milling and drying. *Food science and biotechnology*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 1073-1081. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00556-1>
 21. Salem H., Abo-Setta Y., Aiad M., Hussein H.A., El-Awady R. Effect of Potassium Humate and Potassium Silicate on Growth and Productivity of Wheat Plants Grown under Saline Conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 2017, vol. 8, no. 11, pp. 577-582. <https://doi.org/10.21608/jssae.2017.38100>
 22. Stefaniak J., Przybył J.L., Latocha P., Łata B. Bioactive compounds, total antioxidant capacity and yield of kiwiberry fruit under different nitrogen regimes in field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, vol. 100, no. 10, pp. 3832-3840. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10420>
 23. Sulastri E., Zubair M.S., Anas N.I., Abidin S., Hardani R., Yulianti R. Total phenolic, total flavonoid, quercetin content and antioxidant activity of standardized extract of *Moringa oleifera* leaf from regions with different elevation. *Pharmacognosy journal*, 2018, vol. 10, no. 6s, pp. s104-s108. <https://doi.org/10.5530/pj.2018.6s.20>
 24. Sung J., Sonn Y., Lee Y., Kang S., Ha S., Krishnan H.B., Oh T.K. Compositional changes of selected amino acids, organic acids, and soluble sugars in the xylem sap of N, P, or K-deficient tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2015, vol. 178, no. 5 pp. 792-797. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500071>
 25. Sutrisno S., Yusnawan E. Effect of Manure and Inorganic Fertilizers on Vegetative, Generative Characteristics, Nutrient, and Secondary Metabolite Contents of Mungbean. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 2018, vol. 10, no. 1, pp. 56-65. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i1.12716>
 26. Tayebimeigooni A, Yahya A., Maziah M., Ahmad S., Zakaria W. Leaf water status, proline content, lipid peroxidation and accumulation of hydrogen peroxide in salinized Chinese kale (*Brassica alboglabra*). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 371-374.

27. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The critical role of potassium in plant stress response. *International journal of molecular sciences*, 2013, vol.14, no. 4, pp. 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
28. Waterland N.L., Moon Y., Tou J.C., Kopsell D.A., Kim M.J., Park S. Differences in leaf color and stage of development at harvest influenced phytochemical content in three cultivars of kale (*Brassica oleracea* L. and *B. napus*). *J Agric Sci.*, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 14-21. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n3p14>
29. Yildiztekin M., Tuna A.L., Kaya C. Physiological effects of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzyme activities of certain pepper plants grown under salt stress. *Acta Biologica Hungarica*, 2018, vol. 69, no. 3, pp. 325-335. <https://doi.org/10.1556/018.68.2018.3.8>
30. Yousuf P.Y., Ahmad A., Hemant Ganie A.H., Aref I.M., Iqbal M.U. Potassium and calcium application ameliorates growth and oxidative homeostasis in salt-stressed Indian mustard (*Brassica juncea*) plants. *Pak. J. Bot.*, 2015, vol. 47, no. 5, pp. 1629-1639.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Joyce Dedei Anteh, PhD. Student, Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry Institute of Fundamental Medicine and Biology
Kazan Federal University
18, Kremlyovskaya Str., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
joydontwi@gmail.com
SPIN-code: 6576-9680
ORCID: 0000-0002-8315-3568

Olga A. Timofeeva, Dr. of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Fundamental Medicine and Biology
Kazan Federal University
18, Kremlyovskaya St., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
otimofeeva2008@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4921-458X
ResearcherID: http: M-3506-2016
Scopus Author ID: 57197942213

Antonina A. Mostyakova, Associate Professor, Candidate. of Agricultural Science, Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Fundamental Medicine and Biology

18, Kremlyovskaya St., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
AAMostyakova@kpfu.ru
ORCID: 0000-0003-3854-1913
ResearcherID: P-1930-2016
Scopus Author ID: 56515346900

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Антех Джойс Деден, аспирант, кафедра ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
joydontwi@gmail.com

Тимофеева Ольга Арнольдовна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
otimofeeva2008@mail.ru

Мостякова Антонина Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
AAMostyakova@kpfu.ru

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-225-243

УДК 581.19:577.152.2

СИСТЕМА ГЛУТАТИОНА КАК МЕХАНИЗМ ДЕТОКСИКАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ У ВАКУОЛЕЙ И ПЛАСТИД КЛЕТОК КОРНЕПЛОДОВ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ

Е.В. Прадедова, Р.К. Саляев

Синтетические соединения, используемые в растениеводстве, представляют собой ксенобиотики, которые, попадая в растения, могут отрицательно влиять на функционирование клеток. Внутри клеток, они подвергаются (или в случае ослабления защитных механизмов не подвергаются) химической трансформации и транспортируются в вакуоли. Избыточное накопление ксенобиотиков в вакуолях, по всей видимости, является следствием нарушения их химической трансформации и деградации в других субклеточных структурах. В связи с этим системы детоксикации ксенобиотиков в вакуолях и других компартментах растительной клетки заслуживают пристального внимания.

Цель работы. Следовало установить, может ли система глутатиона в таких органеллах, как вакуоли и пластиды, служить одним из механизмов детоксикации гербицидов.

Материалы и методы. Проводили сравнительное исследование системы глутатиона у вакуолей и лейкопластов, изолированных из клеток корнеплодов столовой свеклы (*Beta vulgaris L.*). Методы спектрофотометрического анализа и гель-электрофореза применяли, чтобы определить содержание глутатиона, активность глутатион-S-трансферазы (GST, КФ 2.5.1.18) и глутатионредуктазы (GR, КФ 1.8.1.7).

Результаты. Количество глутатиона было выше в вакуолях, по сравнению с лейкопластами. Активность GST у вакуолей также была выше. Ферменты из семейства GST, катализирующие реакции конъюгации глутатиона с различными соединениями, имеют непосредственное отношение к детоксикации метаболитов и ксенобиотиков. GSTs вакуолей и пластид взаимодействовали с гербицидами (глифосатом, фтородифеном и клопиралидом), что свидетельствовало об участии этих ферментов в детоксикации экзогенных токсичных соединений. Поддерживает пул глутатиона в восстановленном состоянии GR. Активность этого фермента в лейкопластах оказалась на-

много выше, по сравнению с вакуолями. GRs вакуолей и пластид отличались стабильностью, в условиях *in vitro* их активность не подавляли используемые в работе гербициды.

Заключение. На основании полученных данных можно предположить, что глутатион, аккумулируемый вакуолями, так же как глутатион пластид, вовлечен в процессы детоксикации, которые протекают в этих субклеточных компартментах. Дальнейшее всестороннее изучение субклеточных механизмов обезвреживания цитотоксичных соединений расширит представление о детоксикационных процессах у растительного организма.

Ключевые слова: *Beta vulgaris* L.; вакуоли; гербициды; глутатион; глутатионредуктаза; глутатион-S-трансферазы; детоксикация; пластиды

Для цитирования. Прадедова Е.В., Салыев Р.К. Система глутатиона как механизм детоксикации гербицидов у вакуолей и пластид клеток корнеплодов столовой свеклы // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 225-243. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-225-243

GLUTATHIONE SYSTEM IS A DETOXIFICATION MECHANISM OF HERBICIDES IN VACUOLES AND PLASTIDS OF RED BEETROOT CELLS

E.V. Pradedova, R.K. Salyaev

The synthetic compounds used in agriculture are xenobiotics, which entering the plants can negatively affect the functioning of plant cells. In cells, xenobiotics undergo (or, if the defense mechanisms are deficient, do not undergo) chemical changes, they are then transported to vacuoles.

Background. *The excess accumulation of xenobiotics inside vacuoles appears to be the result of impaired conversion and degradation of these compounds in other subcellular structures. In this regard, the detoxification systems of vacuoles and other subcellular compartments deserve close attention when studying the mechanisms of disposal harmful substances in the plant cells.*

Purpose. *In the present paper, the glutathione system of organelles, of such as vacuoles and plastids, was considered as one of the mechanisms for detoxifying herbicides.*

Materials and methods. *The glutathione system in the vacuoles compared to those in leucoplasts have been studied. Organelles were isolated from cells of red beet (*Beta vulgaris* L.) taproots. Spectrophotometric analysis and gel electrophore-*

sis have been applied to assess the glutathione content and the activity of glutathione S-transferase (GST, EC 2.5.1.18) and glutathione reductase (GR, EC 1.8.1.7).

Results. The concentration of the glutathione in vacuoles was higher in comparison to that in the leucoplasts. The activity of GST in the vacuoles has been assessed to be quite high compared to that of leucoplasts. The enzymes of GST-family, which catalyze the conjugation of GSH to various compounds, were directly related to the detoxification of cytotoxic metabolites and xenobiotics. GSTs of vacuoles and plastids reacted with herbicides (glyphosate, clopyralid, fluorodifen), what gave evidence of the fact of participation of these enzymes in the process of detoxification of exogenous harmful compounds. One of the mechanisms for the reduction of glutathione inside the vacuoles and plastids can be associated with GR. The activity of GR in the leucoplasts has been assessed to be quite high compared to that of vacuoles. The GRs of vacuoles and plastids were found to be stable enzymes; the studies *in vitro* gave the evidence that their activities were not suppressed by the herbicides used in the experiments.

Conclusion. Collectively, our findings suggest the idea that the glutathione accumulated by vacuoles, like the glutathione accumulated by plastids, seems to contribute to the detoxification, which can take place in these compartments. A comprehensive study of the subcellular mechanisms of neutralization of damaging substances will expand the understanding of the detoxification in plants.

Keywords: *Beta vulgaris* L.; glutathione; glutathione S-transferase; glutathione reductase; herbicide; plastids; vacuoles

For citation. Pradedova E.V., Salyaev R.K. Glutathione System is a Detoxification Mechanism of Herbicides in Vacuoles and Plastids of Red Beetroot Cells. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 225-243. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-225-243

Введение

Устойчивость растений к действию цитотоксичных соединений обусловлена эффективностью процессов детоксикации, которые объединяют биотрансформацию, деградацию и выведение преобразованных соединений из клеток [8]. Следует отметить, что соединения, обладающие цитотоксическими свойствами, выводятся из клеток растений в апопласт или секвестрируются внутри клеток в центральной вакуоли [23]. Есть все основания полагать, что именно центральная вакуоль вносит существенный вклад в защиту растительной клетки от пагубного действия повреждающих соединений. В связи с этим она должна обладать механизмами, предназначенными для их детоксикации и утилизации [17].

Среди разнообразных механизмов детоксикации особое внимание заслуживает глутатионилирование (конъюгация с молекулой глутатиона) электрофильных гидрофобных метаболитов и ксенобиотиков. Этот механизм имеет непосредственное отношение к окислительно-восстановительной системе глутатиона, которая включает восстановленную (GSH) и окисленную (GSSG) формы глутатиона, а также глутатион-зависимые ферменты (глутатион-S-трансферазы, глутатионпероксидазу, глутатионредуктазу и др.) [17, 18, 20]. Редокс-система глутатиона относительно хорошо охарактеризована у пластид [18, 20]. В то же время, только единичные факты указывали на возможное функционирование этой системы в вакуолях растительных клеток [6, 18, 20]. В связи с этим исследование системы глутатиона в вакуолях, особенно в качестве механизма детоксикации, представлялось актуальным и целесообразным. Чтобы понять насколько велика роль вакуолярной системы глутатиона в защите клеток от цитотоксичных соединений, следовало провести сравнительный анализ этой системы у вакуолей и пластид, так как у последних эта система достаточно хорошо изучена. Таким образом, основными объектами исследования в настоящей работе служили вакуоли и пластиды, которые изолировали из клеток корнеплодов столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.). В рамках решаемых задач внимание уделялось: 1) содержанию и редокс-состоянию глутатиона в вакуолях и пластидах; 2) активности глутатион-S-трансфераз (GSTs, КФ 2.5.1.18) и их субстратной специфичности по отношению к гербицидам (фтородифену, клопиралиду и глифосату); 3) активности глутатионредуктазы (GR, КФ 1.8.1.7) и влиянию указанных гербицидов на эту активность в условиях *in vitro*.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили корнеплоды столовой свеклы в период их физиологического покоя. Из корнеплодов выделяли вакуоли с помощью макрообъемного модифицированного метода [2]. Пластиды (лейкопласты) получали согласно общепринятому подходу с некоторой модификацией [4]. Фракции изолированных органелл наблюдали под микроскопом Axio Observer Z1 (Carl Zeiss, Германия) (Рис. 1).

Содержание глутатиона в изолированных органеллах и экстракте ткани определяли с помощью спектрофотометрического рециклирующего метода с 5,5'-дитиобис-2-нитробензойной кислотой (реактив Элмана) с предварительной дегидратацией 2-винилпиридином [11]. Этот метод по-

зволюял определить содержание GSH и GSSG. Концентрацию глутатиона выражали в условных единицах нмоль GSH /мг белка. Белок определяли по методу Bradford.

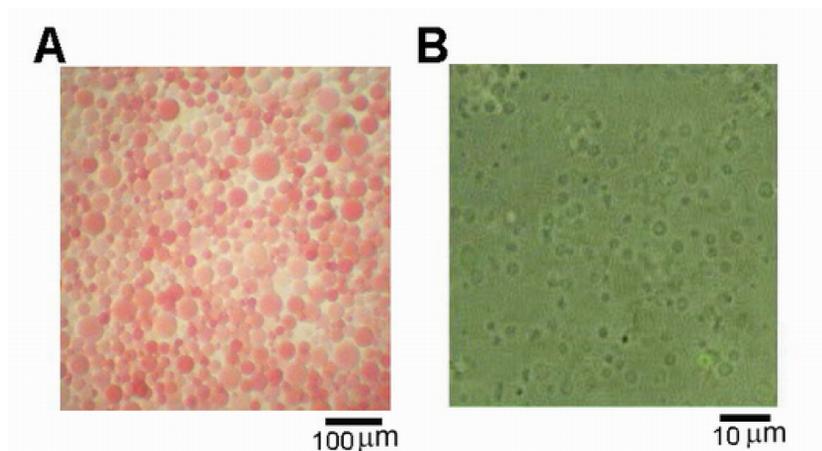


Рис. 1. Фракции вакуолей (А) и лейкопластов (В), получаемые из клеток корнеплодов столовой свеклы.

Активность глутатион-S-трансферазы (GST) и глутатионредуктазы (GR) определяли с помощью общепринятых методов с использованием спектрофотометрии [3, 14, 19].

Электрофоретические методы применяли для выявления активности изоформ ферментов [12]. Активность изоформ GST в полиакриламидном геле (ПААГ) после электрофоретического разделения белков в неденатурирующих условиях (CN-PAGE) визуализировали с разными субстратами: 1) общепринятыми субстратами 1-хлор-2,4-динитробензолом (CDNB, 1 мМ) и этакриновой кислотой (1 мМ); 2) гербицидами фтородифеном (0,5 мМ), клопиралидом (0,5 мМ) и глифосатом (0,5 мМ) [13, 15].

Активность изоформ GR определяли в геле после CN-PAGE и изоэлектрофоретического фокусирования белков (IEF) [12, 13]. GR из пекарских дрожжей (Sigma) служила маркером. После IEF и визуализации активности в ПААГ, белки из гелиевых пластин переносили на нитроцеллюлозную мембрану (Вестерн-блоттинг) и детектировали изоформы GR, применяя первичные поликлональные антитела мыши против GR пекарских дрожжей и вторичные антитела мыши против IgG, конъюгированные с пероксидазой (Sigma).

Все эксперименты проводили в трех-пяти независимых сериях экспериментов (данные представлены в виде среднего значения \pm стандартное отклонение). Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и апостериорный тест Тьюки использовали для оценки статистически значимых различий между величинами концентраций глутатиона, которые приведены ниже в таблице.

Результаты исследования и их обсуждение

Преодолевая мембранные барьеры, гидрофобные ксенобиотики, быстро проникают в клетку и ее структуры, нарушая их функции [23]. Существуют разнообразные молекулярные механизмы, переводящие эти соединения в гидрофильное состояние и предотвращающие, таким образом, их беспрепятственное движение сквозь эндомембраны клетки [7]. Субклеточные структуры содержат локальные системы защиты. Некоторые внутриклеточные компартменты могут быть более «приспособленными» к детоксикации, обладая разнообразными механизмами защиты. В растительных клетках такие компартменты не описаны, в отличие от животных клеток, в которых эндоплазматический ретикулум вносит существенный вклад в обезвреживание цитотоксичных соединений посредством многочисленных монооксигеназ с широкой субстратной специфичностью [7, 8]. Однако в растительных клетках защитная роль отводится центральному вакуолям [7]. Одна из основных функций этих структур – аккумуляция и утилизация веществ, выведенных из клеточного метаболизма. Участие вакуолей в детоксикационной защите растительных клеток так или иначе обсуждается в литературных источниках, однако информации о механизмах, осуществляющих эту защиту, по-прежнему крайне мало [24].

Некоторые факты указывали на возможность функционирования редокс-системы глутатиона в вакуолях растительных клеток [7, 18]. Эта система широко известна как система детоксикационной защиты [17, 18, 20]. Однако о вакуолярной системе глутатиона мало сведений [20, 24]. В то же время, эта система относительно хорошо исследована в пластидах многих растений [18]. В связи с этим представлялось целесообразным провести сравнительное исследование этой системы у вакуолей и пластид.

Содержание глутатиона определяли в изолированных органеллах. В вакуолях общего глутатиона ($GSH_{\text{сум}}$), который представлен суммой GSH и $GSSG$, оказалось больше, чем в пластидах (Табл. 1).

Таблица 1.

Содержание глутатиона в исследуемых органеллах и тканевом экстракте

Редокс-форма и редокс-соотношение глутатиона	Концентрация глутатиона, нмоль GSH / мг белка		
	вакуоли	пластиды	экстракт ткани
GSH	117,7 ± 23,1	69,7 ± 8,3	222,1 ± 28,1
GSSG	17,1 ± 2,5	4,9 ± 1,1	16,1 ± 2,9
GSSG, %	11	6	6
GSH _{сум}	151,9 ± 28,1	79,5 ± 10,4	254,3 ± 33,9
GSH/GSSG	6,9	14,1	13,8

Примечание: различия между образцами (вакуоли, пластиды и экстракт ткани) достоверны при $p < 0,05$.

Ранее глутатион был обнаружен во всех органах растений, но его количество в значительной степени зависело от вида растения, типа исследуемой ткани, стадии развития и условий произрастания [18]. В тканях корнеплодов столовой свеклы, т.е. в их водных экстрактах, относительная концентрация глутатиона оказалась довольно высокой, по сравнению с тканями других органов у других растений [18]. Это можно объяснить высокой мобилизованностью защитных систем у корнеплодов в период физиологического покоя, который проходит в условиях низких температур и пониженной влажности.

Одним из важных показателей, позволяющим оценить интенсивность окислительных процессов, служит концентрация окисленного глутатиона [18]. Содержание GSSG в вакуолях было заметно выше, его процентное соотношение практически в 2 раза превосходило процентное соотношение GSSG в пластидах (Табл. 1). Из-за относительно низкой концентрации GSSG у пластид величины соотношения GSH/GSSG оказались довольно высокими, что говорило о восстановленном состоянии пула глутатиона. Тогда как вакуоли характеризовались более окисленным состоянием глутатиона.

Глутатиона в образцах становилось меньше, если к ним добавляли гербициды (глифосат, клопиралид и фтородифен). Это было установлено в ходе следующего эксперимента: сначала водные экстракты органелл инкубировали в течение 10 мин с одним из исследуемых гербицидов (10 мкМ); затем определяли свободный глутатион в соответствие с протоколом метода [11]. С гербицидами заметно снижалось содержание GSH_{сум}, вследствие снижения GSH, при этом количество GSSG практически не изменялось (данные не приводятся). Однако это приводило к снижению величин GSH/GSSG (Табл. 2).

Таблица 2.

Влияние гербицидов на редокс-соотношение глутатиона

Гербициды 10 мкМ	Окислительно-восстановительное соотношение GSH/GSSG					
	вакуоли		пластиды		ткань	
	водный экстракт	экстракт без белка	водный экстракт	экстракт без белка	водный экстракт	экстракт без белка
Контроль	6,9	6,7	13,6	13,4	12,5	12,1
Глифосат	5,9	6,2	12,9	13,1	9,9	11,8
Клопиралид	5,2	5,9	12,2	12,8	8,7	11,2
Фтородифен	4,3	5,8	11,1	12,3	7,5	10,8

В тех случаях, когда из водных экстрактов перед инкубацией с гербицидом был удален белок, величины GSH/GSSG у вакуолей и тканевого экстракта снижались заметно меньше, что косвенно указывало на участие каталитических белков в реакции конъюгации GSH и гербицидов.

Реакцию конъюгации GSH с метаболитами и чужеродными соединениями катализирует GST. Активность этого фермента выявлена в вакуолях и пластидах клеток корнеплодов столовой свеклы [1]. Активность GST у вакуолей (при pH 7,0) была выше, чем у пластид (Рис. 2А). Её специфичность была подтверждена с помощью ингибирования этакриновой кислотой, которая выступает в роли субстрата для некоторых изоформ GST [14].

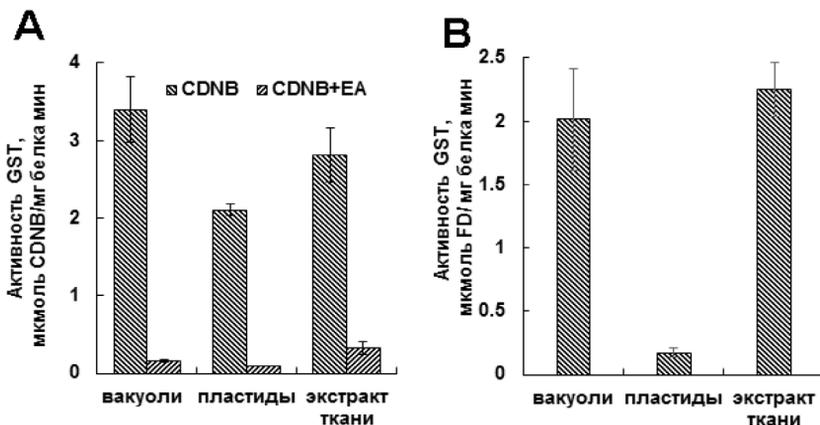


Рис. 2. Глутатион-S-трансферазная (GST) активность вакуолей, пластид и тканевого экстракта с разными субстратами. А – с традиционным субстратом 1-хлоро-2,4-динитробензолом (CDNB) и ингибирование GST-активности конкурентным субстратом этакриновой кислотой (EA). В – с гербицидом фтородифеном (FD)

Метод спектрофотометрии не позволяет выявлять ферментативную активность с большинством гербицидов. Однако с помощью этого метода можно определить активность GST с гербицидом фтородифеном. Вакуолярные GSTs показали более высокую активность с этим гербицидом (Рис. 2В). Фтородифен обычно используется как маркер способности некоторых изоформ GST к взаимодействию с гербицидами [19].

Метод электрофоретического разделения белков в неденатурирующих условиях (CN-PAGE) с последующим определением ферментативной активности в пластинах геля, как визуальный метод для исследования взаимодействия GST с различными субстратами, напротив, позволяет определить взаимодействие изоформ фермента с разными субстратами, в том числе с гербицидами. Активность GST в гелиевых пластинах визуализировали с глифосатом, клопиралидом и фтородифеном, а также с классическими субстратами CDNB и этакриновой кислотой. Вторым субстратом служил GSH. Для обнаружения неспецифической активности анализировали дополнительный контрольный образец, содержащий только GSH (Рис. 3А и В, трек 1).

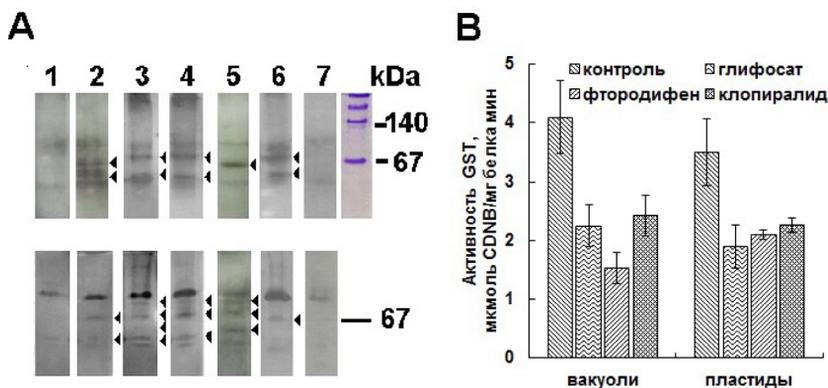


Рис. 3. Активность изоформ глутатион-S-трансферазы (GST) у вакуолей (А) и пластид (В). Ферментативная активность в исследуемых образцах с такими субстратами, как: 1 – глутатион (GSH) (неспецифичная реакция); 2 – GSH + 1-хлор-2,4-динитробензол (CDNB); 3 – GSH + глифосат; 4 – GSH + клопиралид; 5 – GSH + фтородифен; 6 – GSH + этакриновая кислота; 7 – GSH + CDNB + этакриновая кислота; м – маркерные белки. Негативное изображение (1-7).

Стрелками обозначены изоформы GST. (С) Подавление активности GST вакуолей и пластид гербицидами (глифосатом, фтородифеном, клопиралидом)

Вместе с GSH и другим упомянутым субстратом количество зон ферментативной активности увеличивалось. GSTs вакуолей взаимодейство-

вали как с традиционными субстратами, так и гербицидами (одна или две изоформы). Все зоны с ферментативной активностью исчезали, если в качестве ингибитора применяли этакриновую кислоту (Рис. 3А, треки 7). В образцах лейкопластов также можно было видеть GST-активность с CDNB (две зоны) и этакриновой кислотой (одна зона) (Рис. 3В, треки 2 и 6). Если в качестве субстратов использовали глифосат, клопиралид и фтородифен, то в геле появлялись три-четыре зоны с ферментативной активностью (Рис. 3В, треки 3-5). Результаты не только электрофоретического, но и спектрофотометрического исследования ферментативной активности показали, что GSTs вакуолей и пластид могут взаимодействовать с используемыми гербицидами (Рис. 3С). Когда среды кроме традиционного субстрата CDNB содержали один из указанных гербицидов, ферментативная активность заметно снижалась так же, как это происходило в случае с этакриновой кислотой, которая, служила субстратом для некоторых изоформ GST.

Ферменты из группы глутатионтрансфераз характеризуются довольно широким субклеточным распространением [9]. GSTs классов тау, фи и лямбда обнаружены в хлоропластах, митохондриях, цитозоле, апопласте и ядре [8, 9]. Изоформы GST, предположительно класса phi, и одна микросомальная изоформа были обнаружены в вакуолях с использованием протеомного анализа [6]. С помощью иммуоферментного анализа в вакуолях были обнаружены изоформы GST предположительно тау-класса [22]. В нашей работе оценивалась активность GST с помощью традиционных методов, с применением модельных субстратов и гербицидов. Собственные факты и имеющиеся в литературе данные позволяют предположить, что GSTs вакуолей и пластид клеток корнеплодов столовой свеклы выполняют функции, характерные для ферментов GST-семейства [18]. Так как изоформы GST реагируют с этакриновой кислотой (структурным аналогом эндогенных альдегидов) и гербицидами, можно ожидать их существенный вклад в процессы детоксикации цитотоксичных соединений.

Низкие концентрации GSH лимитируют реакции конъюгации, катализируемые GST. Поддержание пула глутатиона в восстановленном состоянии – основная функция глутатионредуктаз (GRs), которые являются неотъемлемыми элементами окислительно-восстановительных систем глутатиона и глутаредоксина, поскольку обеспечивают их непрерывное функционирование [8]. В нашем случае от активности GR в некоторой степени зависела интенсивность конъюгации гербицидов с глутатионом, т.е. эффективность детоксикации. Следует отметить, что GR хлоропластов

и цитозоля относительно хорошо изучены у ряда растений [5, 10]. Вместе с тем, информации о вакуолярной GR практически нет. Известно, что у проростков *Hordeum vulgare* GR-активность вакуолей была в несколько раз ниже, по сравнению с GR-активностью хлоропластов [21]. У клеток корнеплодов столовой свеклы была обнаружена та же картина (Рис. 4А).

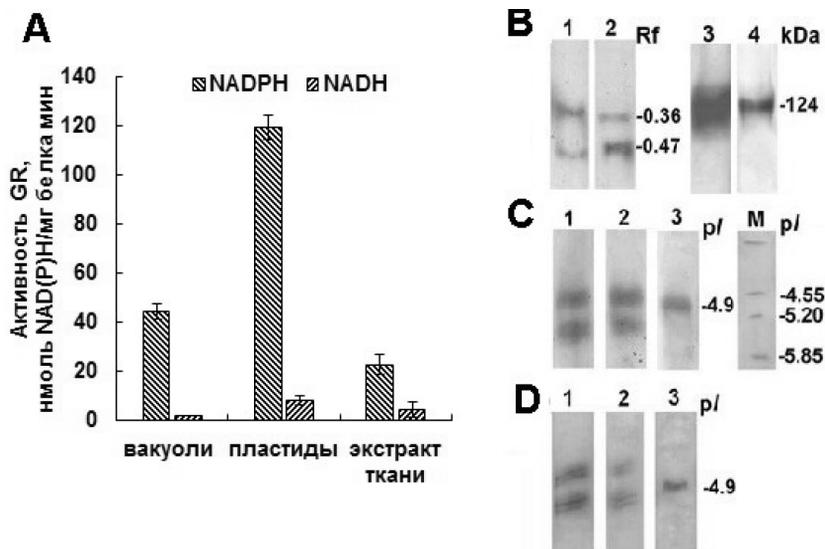


Рис. 4. Активность глутатионредуктазы (GR). А – Спектрофотометрический анализ активности GR с NADPH и NADH. В – Изоферментный состав GR в пластинах геля после электрофореза при неденатурирующих условиях (CN-PAGE). С – Изоферментный состав GR в пластинах геля после изоэлектрофоретического фокусирования (IEF) белков. Д – иммуноферментный анализ (Вестерн-блоттинг). 1 – вакуоли; 2 – пластиды; 3 – GR пекарских дрожжей (Sigma) служила контрольным вариантом; 4 – GR пекарских дрожжей, окрашенная Кумасси; М – белковые маркеры для IEF.

Таким образом, полученные результаты не противоречили сложившемуся представлению, согласно которому большая часть всех клеточных GR сосредоточена в пластидах [18]. Известно, что NADPH и NADH служат восстановителями GSSG в реакциях, катализируемых GR. Однако в качестве основного субстрата принято считать NADPH, так как GR не у всех организмов способны взаимодействовать с NADH [5, 10]. Действительно, ферментативная активность GR у вакуолей и пластид с NADPH была в несколько раз выше, чем с NADH (Рис. 4А).

В пластинах геля после CN-PAGE можно было видеть две зоны с GR-активностью, которые, по всей видимости, соответствовали двум изоформам фермента (Рис. 4В). Значение Rf одной из изоформ GR, обладающей меньшей электроподвижностью (Rf 0.36), совпадало со значением Rf для GR пекарских дрожжей (Rf 0.33-0.36), которая в этом эксперименте служила контрольным вариантом (Рис. 4В, треки 3 и 4).

Разделение белков в ходе IEF происходит по величинам их поверхностных зарядов (Рис. 4С). При таком разделении, в пластинах геля также формировались две основные зоны с GR-активностью, которые соответствовали двум изоформам фермента. Все выявленные зоны ферментативной активности располагались в области $pI \sim 4,0-5,0$. Для визуализации активности GR был применен Вестерн-блотт анализ и антитела, полученными для GR пекарских дрожжей (Рис. 4D). Результаты этого анализа подтвердили принадлежность наблюдаемой ферментативной активности изоформам GR.

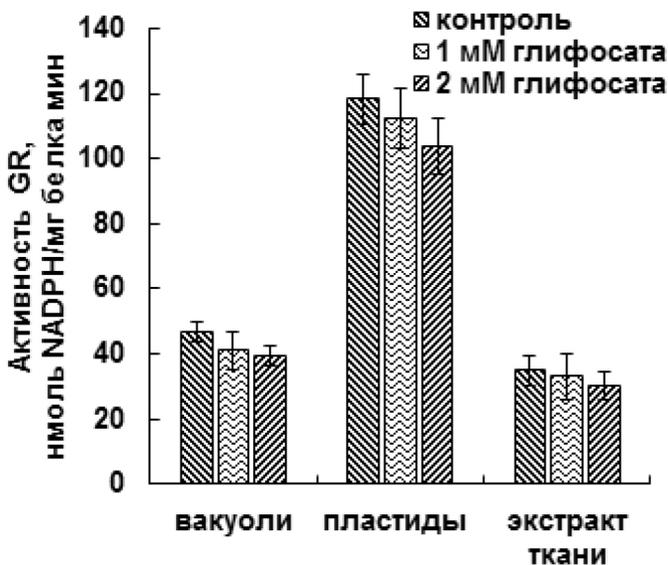


Рис. 5. Влияние гербицида глифосата в 1-мМ и 2-мМ концентрации на активность глутатионредуктазы (GR).

В клетках растений нуклеотид-зависимые GRs являются димерными белками и часто представлены несколькими изоформами. Две изоформы

GR идентифицированы в клетках *Pinus strobus* и *Arabidopsis thaliana* [3, 16]. Согласно полученным результатам, у корнеплодов свеклы две разные изоформы GR локализируются в вакуолях и пластидах. Значения pI этих изоформ близки к значениям pI для GR других растений, которые имели две или более изоформы с pI от 4,1 до 4,9 [3, 10, 16]. Для GR разного происхождения характерна высокая степень гомологии аминокислотной последовательности апофермента [10]. По этой причине антитела к GR пекарских дрожжей оказались специфичными для GR растительного объекта.

Представлялось целесообразным исследовать эффект гербицидов на активность GR, подавление которой при обработке пестицидами может приводить к истощению пула GSH. Однако выраженного ингибирования GR гербицидами в условиях *in vitro* не обнаружено. На рисунке 5 приведен результат характерного опыта с глифосатом. Аналогичные результаты получены и для других гербицидов (данные не приводятся).

Снижение активности GR примерно на 10% происходило при довольно высокой концентрации гербицида – 2 мМ. Гербициды в концентрации 1 мМ оказались неэффективными, что свидетельствовало об относительно высокой стабильности фермента. Ранее после экзогенной обработки (*in vivo*) глифосатом корней и листьев некоторых растений отмечали увеличение GR-активности. Это было обусловлено экспрессией защитных систем клетки, в частности, системы глутатиона [17].

Заключение

Не вызывает сомнения тот факт, что накопление цитотоксичных веществ в тканях культурных растений является прямым следствием нарушения детоксикационных процессов в субклеточных структурах. Очевидно, что для понимания причин нарушения этих процессов необходимо системное изучение механизмов детоксикации в компартаментах растительной клетки.

Поскольку центральная вакуоль аккумулирует и удерживает цитотоксичные соединения, целесообразно изучать механизмы детоксикации в этом компарimente. В настоящей работе проводилось сравнительное исследование глутатион-зависимых механизмов детоксикации у вакуолей и пластид корнеплодов столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.). В вакуолях и лейкопластах корнеплодов столовой свеклы впервые показано присутствие ферментов системы глутатиона. Выявлена активность глутатионредуктазы (GR) – фермента, поддерживающего пул глутатиона в восстановленном состоянии. Активность GR характеризовалась высокой стабильностью. Она практически не снижалась при наличии исследуемых гербицидов в инкубационной среде.

Основное назначение GR заключается в восстановлении аккумулируемого вакуолями и пластидами глутатиона, который вовлекается в процессы детоксикации цитотоксичных соединений. Сравнительный анализ показал, что GSTs вакуолей и пластид обладали довольно широкой субстратной специфичностью и могли взаимодействовать с исследуемыми гербицидами. Кроме того, с некоторыми субстратами активность GSTs вакуолей была заметно выше, чем активность GSTs пластид.

Факты, подтверждающие наличие GR и ферментов GST-семейства в вакуолях, в некоторой степени расширяют представление о вакуолярной функции. Вопреки сложившемуся мнению, основная функция вакуолей, содержащих указанные ферменты, не ограничивается депонированием конъюгатов глутатиона, транспортируемых из цитозоля. Конъюгаты соединений, в том числе ксенобиотических, при участии глутатионзависимых ферментов могут образовываться внутри самой вакуоли. Очевидно, что детальное исследование системы глутатиона и других систем, причастных к обезвреживанию цитотоксичных метаболитов и ксенобиотиков в вакуолях и других субклеточных структурах, позволит выявить индивидуальные особенности их механизмов детоксикации.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Прадедова Е.В., Нимаева О.Д., Трухан И.С., Саяев Р.К. Глутатионтрансферазная активность вакуолей, пластид и экстрактов ткани корнеплодов столовой свеклы // Биологические мембраны. 2016. Т. 33, № 2. С. 140-149. <https://doi.org/10.7868/S0233475516020092>
2. Саяев Р.К., Кузеванов В.Я., Хаптагаев С.А., Копытчук В.Н. Выделение и очистка вакуолей и вакуолярных мембран из клеток растений // Физиология растений. 1981. Т. 28. С.1295-1305.
3. Anderson J.V., Hess J.L., Chevone B. Purification, characterization, and immunological properties for two isoforms of glutathione reductase from eastern white pine needles // Plant Physiology, 1990, vol. 94, no. 3, pp. 1402-1409. <https://doi.org/10.1104/pp.94.3.1402>
4. Boyle S.A., Hemmingsen S.M., Dennis D.T. Uptake and processing of the precursor to the small subunit of ribulose 1.5-bisphosphate carboxylase by leuco-

- plasts from the endosperm of developing castor oil seeds // *Plant Physiology*, 1986, vol. 81, no. 3, pp. 817-822. <https://doi.org/10.1104/pp.81.3.817>
5. Carlberg I., Mannervik B. Glutathione reductase // *Methods Enzymology*, 1985, vol. 113, pp. 484-490. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(85\)13062-4](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(85)13062-4)
 6. Carter C., Pan S., Zouhar J., Avila E.L., Girke T., Raikhel N.V. The vegetative vacuole proteome of *Arabidopsis thaliana* reveals predicted and unexpected proteins // *The Plant Cell*, 2004, vol. 16, no. 12, pp. 3285-3303. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.027078>
 7. Coleman J.O.D., Blake-Kalff M.M.A., Davies T.G.E. Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation // *Trends in Plant Science*, 1997, vol. 2, no. 4, pp. 144-151. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-93.x>
 8. Dixon D.P., Cummins I., Cole D.J., Edwards R. Glutathione-mediated detoxification system in plants // *Current Opinion in Plant Biology*, 1998, vol. 1, no. 3, pp. 258-266. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(98\)80114-3](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(98)80114-3)
 9. Dixon D.P., Hawkins T., Hussey J., Edwards R. Enzyme activities and subcellular localization of members of the Arabidopsis glutathione transferase superfamily // *Journal of Experimental Botany*, 2009, vol. 60, no. 4, pp. 1207-1218. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern365>
 10. Edwards E.A., Rawsthorne S., Mullineaux P.M. Subcellular distribution of multiple forms of glutathione reductase in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) // *Planta*, 1990, vol. 180, no. 2, pp. 278-284. <https://doi.org/10.1007/BF00194008>
 11. Forman H.J., Zhang H., Rinna A. Glutathione: overview of its protective roles, measurement, and biosynthesis // *Molecular Aspects of Medicine*, 2009, vol. 30, no. 1-2, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2008.08.006>
 12. Gaal O., Medgyesi G.A., Vereczke L. *Electrophoresis in the separation of biological macromolecules*. New York: Wiley, 1980, 422 p. <https://doi.org/10.3109/08923978009026414>
 13. Gupta S., Rathaur S. Filarial glutathione S-transferase: its induction by xenobiotics and potential as drug target // *Acta Biochimica Polonica*, 2005, vol. 52, no. 2, pp. 493-500.
 14. Kili K.G., Atanassova N., Vardanyan A., Clatot N., Al-Sabarna K., Kanellopoulos P.N., Makris A.M., Kampranis S.C. Differential roles of tau class glutathione S-transferases in oxidative stress // *Journal of Biology and Chemistry*, 2004, vol. 279, no. 23, pp. 24540-24551. <https://doi.org/10.1074/jbc.M309882200>
 15. Manchenko G.P. *Handbook of detection of enzymes on electrophoretic gels*. Second Edition. Boca Raton: CRC Press LLC, 2002, 568 p. <https://doi.org/10.1201/9781420040531>
 16. Marty L., Siala W., Schwarzlander M., Fricker M.D., Wirtz M., Sweetlove L.J., Meyer Y., Meyer A.J., Reichheld J.P., Hell R. The NADPH-dependent thioredoxin system

- constitutes a functional backup for cytosolic glutathione reductase in Arabidopsis // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, vol. 106, no. 22, pp. 9109-9114. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900206106>
17. Miteva L.P.E., Ivanov S.V., Alexieva V.S. Alterations in glutathione pool and some related enzymes in leaves and roots of pea plants treated with the herbicide glyphosate // *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, vol. 57, pp. 131-136. <https://doi.org/10.1134/S1021443710010188>
 18. Noctor G., Mhamdi A., Chaouch S., Han Y., Neukermans J., MarquezGarcia B., Queval G., Foyer C.H. Glutathione in plants: an integrated overview // *Plant Cell & Environment*, 2012, vol. 35, no. 2, pp. 454-484. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02400.x>
 19. Pascal S., Scalla R. Purification and characterization of a safener-induced glutathione S-transferase from wheat (*Triticum aestivum*) // *Physiologia Plantarum*, 1999, vol. 106, no. 1, pp. 17-27. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106103.x>
 20. Queval G., Jaillard D., Zechmann B., Noctor G. Increased intracellular H₂O₂ availability preferentially drives glutathione accumulation in vacuoles and chloroplasts // *Plant & Cell Environment*, 2011, vol. 34, no. 1, pp. 21-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02222.x>
 21. Rautenkranz A.F., Li L., Machler F., Martinoia E., Oertli J.J. Transport of ascorbic and dehydroascorbic acids across protoplast and vacuole membranes isolated from barley (*Hordeum vulgare* L. cv Gerbel) leaves // *Plant Physiology*, 1994, vol. 106, no. 1, pp. 187-193. <https://doi.org/10.1104/pp.106.1.187>
 22. Riechers D.E., Zhang Q., Xu F., Vaughn, K.C. Tissue-specific expression and localization of safener-induced glutathione S-transferase proteins in *Triticum tauschii*. *Planta*. 2003, vol. 217, no. 5, pp. 831-840. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1063-y>
 23. Van Eerd L.L., Hoagland R.E., Zablotowicz R.M., Hall J.C. Pesticide metabolism in plants and microorganisms // *Weed Science*. 2003, vol. 51, no. 4, pp. 472-495. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0472:PMIPAM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0472:PMIPAM]2.0.CO;2)
 24. Zechmann B. Compartment-specific importance of ascorbate during environmental stress in plants // *Antioxidants & Redox Signaling*, 2018, vol. 29, no. 15, pp. 1488-1501. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7232>

References

1. Pradedova E.V., Nimaeva O.D., Truchan I.S., Salyaev R.K. *Glutathiontransferaznaya aktivnost' vakuoley, plastid i ekstraktov tkani korneplodov stolovoy svekly* [Glutathione transferase activity of vacuoles, plastids, and tissue extracts of red beetroot]. *Biochemistry (Moscow) Supplement Series A Membrane and Cell Biology*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 223-232. <https://doi.org/10.1134/S1990747816020082>

2. Salyaev R.K., Kuzevanov V.Ya., Khaptagaev S.A., Kopytchuk V.N. Vydeleniye i ochistka vakuoley i vakuolyarnykh membran iz kletok rasteniy [Isolation and purification of vacuoles and vacuolar membranes from plant cells]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology], 1981, vol. 28, pp. 1295-1305.
3. Anderson J.V., Hess J.L., Chevone B. Purification, characterization, and immunological properties for two isoforms of glutathione reductase from eastern white pine needles. *Plant Physiology*, 1990, vol. 94, no. 3, pp. 1402-1409. <https://doi.org/10.1104/pp.94.3.1402>
4. Boyle S.A., Hemmingsen S.M., Dennis D.T. Uptake and processing of the precursor to the small subunit of ribulose 1.5-bisphosphate carboxylase by leucoplasts from the endosperm of developing castor oil seeds. *Plant Physiology*, 1986, vol. 81, no. 3, pp. 817-822. <https://doi.org/10.1104/pp.81.3.817>
5. Carlberg I., Mannervik B. Glutathione reductase. *Methods Enzymology*, 1985, vol. 113, pp. 484-490. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(85\)13062-4](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(85)13062-4)
6. Carter C., Pan S., Zouhar J., Avila E.L., Girke T., Raikhel N.V. The vegetative vacuole proteome of *Arabidopsis thaliana* reveals predicted and unexpected proteins. *The Plant Cell*, 2004, vol. 16, no. 12, pp. 3285-3303. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.027078>
7. Coleman J.O.D., Blake-Kalff M.M.A., Davies T.G.E. Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation. *Trends in Plant Science*, 1997, vol. 2, no. 4, pp. 144-151. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-93.x>
8. Dixon D.P., Cummins I., Cole D.J., Edwards R. Glutathione-mediated detoxification system in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 1998, vol. 1, no. 3, pp. 258-266. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(98\)80114-3](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(98)80114-3)
9. Dixon D.P., Hawkins T., Hussey J., Edwards R., Enzyme activities and subcellular localization of members of the *Arabidopsis* glutathione transferase superfamily. *Journal of Experimental Botany*, 2009, vol. 60, no. 4, pp. 1207-1218. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern365>
10. Edwards E.A., Rawsthorne S., Mullineaux P.M. Subcellular distribution of multiple forms of glutathione reductase in leaves of pea (*Pisum sativum* L.). *Planta*, 1990, vol. 180, no. 2, pp. 278-284. <https://doi.org/10.1007/BF00194008>
11. Forman H. J., Zhang H., Rinna A. Glutathione: overview of its protective roles, measurement, and biosynthesis. *Molecular Aspects of Medicine*, 2009, vol. 30, no. 1-2, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2008.08.006>
12. Gaal O., Medgyesi G.A., Vereczke L. *Electrophoresis in the separation of biological macromolecules*. New York: Wiley, 1980, 422 p. <https://doi.org/10.3109/08923978009026414>
13. Gupta S., Rathaur S. Filial glutathione S-transferase: its induction by xenobiotics and potential as drug target. *Acta Biochimica Polonica*, 2005, vol. 52, no. 2, pp. 493-500.

14. Kilili K.G., Atanassova N., Vardanyan A., Clatot N., Al-Sabarna K., Kanellopoulos P.N., Makris A.M., Kampranis S.C. Differential roles of tau class glutathione S-transferases in oxidative stress. *Journal of Biology and Chemistry*, 2004, vol. 279, no. 23, pp. 24540-24551. <https://doi.org/10.1074/jbc.M309882200>
15. Manchenko G.P. *Handbook of detection of enzymes on electrophoretic gels*. Second Edition. Boca Raton: CRC Press LLC, 2002, 568 p. <https://doi.org/10.1201/9781420040531>
16. Marty L., Siala W., Schwarzlander M., Fricker M.D., Wirtz M., Sweetlove L.J., Meyer Y., Meyer A.J., Reichheld J.P., Hell R. The NADPH-dependent thioredoxin system constitutes a functional backup for cytosolic glutathione reductase in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, vol. 106, no. 22, pp. 9109-9114. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900206106>
17. Miteva L.P.E., Ivanov S.V., Alexieva V.S. Alterations in glutathione pool and some related enzymes in leaves and roots of pea plants treated with the herbicide glyphosate. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, vol. 57, pp. 131-136. <https://doi.org/10.1134/S1021443710010188>
18. Noctor G., Mhamdi A., Chaouch S., Han Y., Neukermans J., MarquezGarcia B., Queval G., Foyer C.H. Glutathione in plants: an integrated overview. *Plant Cell & Environment*, 2012, vol. 35, no. 2, pp. 454-484. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02400.x>
19. Pascal S., Scalla R. Purification and characterization of a safener-induced glutathione S-transferase from wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum*, 1999, vol. 106, no. 1, pp. 17-27. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106103.x>
20. Queval G., Jaillard D., Zechmann B., Noctor G. Increased intracellular H₂O₂ availability preferentially drives glutathione accumulation in vacuoles and chloroplasts. *Plant & Cell Environment*, 2011, vol. 34, no. 1, pp. 21-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02222.x>
21. Rautenkrantz A.F., Li L., Machler F., Martinoia E., Oertli J.J. Transport of ascorbic and dehydroascorbic acids across protoplast and vacuole membranes isolated from barley (*Hordeum vulgare* l. cv Gerbel) leaves. *Plant Physiology*, 1994, vol. 106, no. 1, pp. 187-193. <https://doi.org/10.1104/pp.106.1.187>
22. Riechers D.E., Zhang Q., Xu F., Vaughn K.C. Tissue-specific expression and localization of safener-induced glutathione S-transferase proteins in *Triticum tauschii*. *Planta*, 2003, vol. 217, no.5, pp. 831-840. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1063-y>
23. Van Eerd L.L., Hoagland R.E., Zablotowicz R.M., Hall J.C. Pesticide metabolism in plants and microorganisms. *Weed Science*, 2003, vol. 51, no. 4, pp. 472-495. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0472:PMIPAM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0472:PMIPAM]2.0.CO;2)
24. Zechmann B. Compartment-specific importance of ascorbate during environmental stress in plants. *Antioxidants & Redox Signaling*, 2018, vol. 29, no. 15, pp. 1488-1501. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7232>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Праделова Елена Владимировна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории физиологии растительной клетки

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Фе-
дерация*

praded@sifibr.irk.ru

Салаяев Рюрик Константинович, д.б.н., проф., чл.-корр., советник РАН, главный научный сотрудник лаборатории физиологии растительной клетки

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Си-
бирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН*

ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация

salyaev@sifir.irk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Pradedova, Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Plant Cell Physiology

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences (SIPPB SB RAS)*

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

praded@sifibr.irk.ru

ORCID: 0000-0002-3374-9398

ResearcherID: J-6747-2018

Scopus Author ID: 6603218820

Rurick K. Salyaev, Dr. Sc. (Biology), Chief Researcher of the Laboratory of Plant Cell Physiology

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences (SIPPB SB RAS)*

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

salyaev@sifir.irk.ru

SPIN-code: 3113-2661

ORCID: 0000-0002-7602-7301

ResearcherID: K-1572-2018

Scopus Author ID: 7003642805

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260

УДК 574.24

МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСНЫЕ БИОГЕОЦЕНОЗЫ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ

Т.А. Михайлова, О.В. Шергина, О.В. Калугина

Цель. Исследовать современное состояние лесных биогеоценозов в рекреационных зонах южного побережья Байкала по комплексу параметров древостоев и почвенного покрова, выявить участки, где необходимы безотлагательные меры по снижению рекреационной нагрузки.

Материалы и методы. В рекреационных зонах, характеризующихся высокими туристическими потоками, были заложены пробные площади (ПП) для обследования состояния лесных биогеоценозов по отечественным и международным методикам. Определяли изменение морфоструктурных параметров деревьев сосны обыкновенной (вида-индикатора), в образцах хвои – содержание биогенных элементов, белкового азота, фотосинтетических пигментов, некоторых поллютантов. Для исследования состояния почвы на ПП закладывали разрезы до глубины подстилающей породы. Определяли морфологические и физико-химические параметры верхних почвенных горизонтов, уровень обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе (ППК), содержание подвижных форм ряда тяжелых металлов.

Результаты. При исследовании основных компонентов лесных биогеоценозов показано, что пресс рекреации является основным фактором, инициирующим процесс деградации почвы и древостоев. Системный характер этого процесса обусловлен биогеохимическими изменениями, вызванными нарушением физико-химических характеристик почвы, что приводит к дисбалансу биогенных элементов в ППК и ухудшению питательного режима почвы, соответственно, проявляется дисбаланс элементов в ассимиляционных органах деревьев и, как следствие, угнетение их ростовых параметров.

Применение результатов. Полученные данные служат информационной базой для региональных природоохранных органов при разработке мер, направленных на оптимизацию рекреационной нагрузки.

Заключение. Необходим постоянный мониторинг состояния лесов, окружающих Байкал и имеющих большую значимость в формировании стока воды в озеро.

Ключевые слова: лесные биогеоценозы; сосна обыкновенная; почвенный покров; антропогенные факторы; южное побережье Байкала

Для цитирования. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Калугина О.В. Мониторинг влияния антропогенных факторов на лесные биогеоценозы южного побережья оз. Байкал // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 244-260. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260

MONITORING OF ANTHROPOGENIC FACTORS INFLUENCE ON FOREST BIOGEOCENOSIS IN THE SOUTH COAST OF LAKE BAIKAL

T.A. Mikhailova, O.V. Shergina, O.V. Kalugina

Purpose is to investigate the current state of forest biogeocenoses in the recreational zones of the southern coast of Lake Baikal in terms of a set of parameters forest stands and soil cover, to identify areas where urgent measures are needed to reduce the recreational load.

Materials and methods. Test plots (TP) were laid to examine the state of forest biogeocenoses in the recreational zones characterized by high tourist flows, using domestic and international methods. The changes in the morphostructural parameters of Scots pine trees (indicator species) were determined, in the samples of needles – the content of biogenic elements, protein nitrogen, photosynthetic pigments, and some pollutants. To study the state of the soil on the TP, cuts were laid down to the depth of the underlying rock. The morphological and physical-chemical parameters of the upper soil horizons, the level of exchangeable cations in the soil absorbing complex (SAC), and the content of mobile forms a number of heavy metals were determined.

Results. The study of the main components of forest biogeocenoses showed that the pressure of recreation is the main factor initiating the degradation process of soil and tree-stands. The systemic nature of this process is due to biogeochemical changes caused by a violation in the soil physical-chemical characteristics, which leads to an imbalance biogenic elements in the SAC and a deterioration in the soil nutrient regime. Respectively, an elements imbalance in the assimilation organs of trees is manifested and, as a consequence, there is inhibition of their growth parameters.

Application of results. The data obtained serve as an information base for regional environmental authorities in the development of measures aimed at optimizing the recreational load.

Conclusion. *It is necessary to constantly monitor the condition of the forests surrounding Lake Baikal and are of great importance in the formation of water flow into the lake.*

Keywords: *forest biogeocenoses; Scots pine; soil cover; anthropogenic factors; southern coast of the Lake Baikal*

For citation. *Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V. Monitoring of Anthropogenic Factors Influence on Forest Biogeocenosis in the South Coast of Lake Baikal. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 244-260. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-244-260*

Введение

Леса, выполняя климаторегулирующие, водоохраные, противоэрозионные и другие экологически значимые функции, являются важнейшим средообразующим ресурсом как регионального масштаба, так и биосферы в целом [17]. Что касается сохранения такого уникального природного объекта, как озеро Байкал, то тут необходим постоянный мониторинг состояния не только непосредственно его водной экосистемы, но и окружающих его лесных биогеоценозов, формирующих более половины стока воды в озеро [2]. Леса побережий Байкала характеризуются преобладанием в своём составе ценных хвойных видов – сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, кедра (сосны сибирской), ели сибирской и пихты сибирской, из мелколиственных пород распространены береза повислая, осина, кустарники. Экологическое состояние лесных экосистем, окружающего озеро, стало вызывать особую тревогу в последние два десятилетия, что во многом связано с резким возрастанием туристического потока и, соответственно, со значительным усилением рекреационной нагрузки на эти территории [6, 8, 18]. По данным Агентства по туризму Иркутской области [16], объем турпотока в Южное Прибайкалье составляет более 15% от общего числа туристов области. Так, в 2019 г. общее число туристов составило 1 млн 830 тыс. чел., а число отдыхающих на южном побережье Байкала (г. Байкальск, КБЖД, Утулик, Хамар-Дабан) достигало 270 тыс. чел. Особо высокий турпоток характерен для пос. Листвянка, по экспертным оценкам, он превышает 400 тыс. чел. в год. Приведенные данные свидетельствуют, что значительный рост числа туристов, то есть нерегулируемое рекреационное лесопользование, является одним из наиболее значимых факторов прогрессирующей высокой нарушенности лесов побережья Байкала. Другой антропогенный фактор, оказывающий негативное влияние на состояние байкальских лесов на локальных участках – техно-

генное загрязнение, источниками которого являются аэровыбросы Южно-Байкальского промузла (г. Слюдянка, г. Байкальск, пос. Култук), а также достигающие побережья эмиссионные потоки от предприятий крупной Иркутско-Черемховской промышленной зоны [12, 14]. В пос. Листвянка загрязнение окружающей среды обусловлено, помимо переноса региональных техногенных эмиссий, также и местными источниками, включая выбросы автотранспорта [5].

Исследователями неоднократно предлагались меры по оптимизации состояния природных рекреационных объектов побережья. Так, предложено принципиально изменить подход к оценке допустимости видов деятельности, установив запрет на применение технологий, сопровождающихся образованием отходов и вредных веществ для экосистемы озера [4], обосновывается необходимость планировать рекреационные нагрузки исходя из устойчивости ландшафтов к воздействию туристической деятельности [7], разработаны правила организации туризма и отдыха на Байкале [9], намечены пути решения проблемы лесовосстановления, в том числе силами волонтеров и школьных лесничеств. При рассмотрении зарубежного опыта исследований лесов, подвергающихся высокой рекреационной нагрузке, обнаруживается, что подобная проблема характерна для многих стран. При этом, рекреационное воздействие на леса изучается по нескольким направлениям, включая экологическое, социальное, экономическое, влияние на экосистемные функции [21, 24, 25]. Многие авторы считают, что рекреация является одной из наиболее важных услуг экосистем, для эффективного выполнения которой необходимы: разработка рекреационного менеджмента, обоснование оценочных индикаторов, перспективное планирование работ по оптимизации состояния лесов [20, 22].

Целью нашей работы было исследовать современное состояние лесных биогеоценозов в рекреационных зонах южного побережья Байкала по комплексу параметров древостоев и почвенного покрова, выявить участки, где необходимы безотлагательные меры по снижению рекреационной нагрузки.

Материал и методы исследований

Исследования проводились на южном побережье оз. Байкал в рекреационных зонах, характеризующихся высоким туристическим потоком – в окрестностях с. Большое Голоустное (Б. Голоустное), пос. Листвянка, вдоль Кругобайкальской железной дороги (КБЖД) от порта Байкал, урочища Шарыжалгай до г. Слюдянка, в окрестностях г. Байкальска, а также на

берегах рек, впадающих в Байкал: Утулик, Солзан, Хара-Мурин, Снежная, Выдриная, Переёмная. На этих рекреационных территориях закладывали пробные площади (ПП), на которых обследовалось состояние лесных биогеоценозов по параметрам основных их компонентов – древостоя и почвенного покрова (рис. 1). В качестве фоновой служила пробная площадь в ненарушенном биогеоценозе в окрестностях с. Нижний Кочергат (ПП Ф). Параметры ПП Ф свидетельствовали об отсутствии рекреационной дигрессии леса – имела место ненарушенная лесная подстилка, повреждение не более 5% подроста и подлеска, напочвенный живой покров сложен из типичных лесных видов растений, тропиочная сеть отсутствует [3].



Рис. 1. Расположение пробных площадей (ПП) на южном побережье оз. Байкал: ПП I – с. Б. Голоустное, ПП II – пос. Листвянка, ПП III – порт Байкал, ПП IV – урочище Шарьжалгай, ПП V – г. Слюдянка, ПП VI – берег р. Утулик, ПП VII – г. Байкальск, ПП VIII – берег р. Солзан, ПП IX – берег р. Хара-Мурин, ПП X – берег р. Снежной, ПП XI – берег р. Выдриной, ПП XII – берег р. Переёмной. Ф – фоновая ПП.

Общая протяженность обследованной береговой полосы составила около 250 км. Для этой территории характерны горный рельеф, резко континентальный климат, антициклональный тип погоды, продолжительный период низких температур воздуха, однако, сезонные колебания температуры смягчает огромная водная масса озера [1]. По ряду орографических, гидрологических, атмосферных и ландшафтных особенностей юго-западное побережье (от Б. Голоустное до пос. Култук) отличается от юго-восточного (от г. Слюдянка до р. Переёмная). Первое характеризует-

ся меньшим количеством осадков и большей годовой величиной суммарной радиации. На западном побережье хребты подступают к озеру почти вплотную, а на восточном они отделены от береговой линии прибрежными равнинами или невысокими предгорьями [2]. Растительность побережья представлена лесами из сосны с примесью березы, лиственницы, кедра, осины. В качестве растения-индикатора служила сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) как основной лесообразующий вид. Ранее нами было дано подробное обоснование использования именно этого вида в индикационных целях при оценке состояния лесов Байкальского региона [11]. Сосновые леса занимают обширные территории на равнинах и в нижних поясах гор, характеризуются разнообразным травяно-кустарниковым ярусом. Почвенный покров неоднороден, на юго-западном побережье наиболее распространены серые лесные и дерново-карбонатные почвы, на юго-восточном – подбуры и буроземы [2].

На заложенных пробных площадях обследовали состояние лесных биогеоценозов по принятым отечественным и зарубежным методикам [10, 15, 23]. Жизненное состояние древостоев оценивали по комплексу морфометрических параметров, в том числе: по уровню дефолиации крон деревьев, длине и массе побегов, диаметру ствола. Кроме того, в хвое определялось содержание основных биогенных элементов. Почвы исследовались методом почвенных разрезов с изучением всех генетических горизонтов по морфологическим и физико-химическим характеристикам. Отбор почвенных образцов производился из верхних (0-20 см) горизонтов квадратно-конвертным способом в пятикратной повторности с последующим определением в них содержания макро- и микроэлементов [13]. Количественное определение элементного химического состава в растительных и почвенных образцах проводили с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра коллективного пользования (ЦКП) ИНЦ СО РАН. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ MS Excel 2010, STATISTICA 8.0. В таблицах приведены средние величины каждого параметра и их стандартные отклонения при уровне значимости $P \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

Практически на всех ИП выявлены негативные изменения параметров древесных растений и почвенного покрова вследствие повышенного и высокого уровня рекреационной нагрузки. Лесные почвы, как правило, первыми испытывают рекреационное влияние, что приводит к значительному

их нарушению и деградации. Помимо явно выраженных признаков антропогенного воздействия (рытвины, ямы, следы от кострищ, неупорядоченная прокладка дорог, многочисленные стихийные свалки), имеют место и негативные изменения, определяемые инструментально и проявляющиеся в существенном нарушении морфоструктурных и физических параметров почвы (табл. 1).

Таблица 1.

Морфоструктурные и физические параметры почвы на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=64$)

№ ПП	Мощность подстилки см	Мощность гумусовых горизонтов см	Влажность от объема %	Плотность (объемный вес) г/см ³	Пористость %	Аэрация %
I	4,5±0,4	10,3±2,1	27,2±2,3	1,15±0,06	48,3±2,4	20,5±1,6
II	1,5±0,5	4,7±1,0	20,2±1,8	1,35±0,05	36,3±3,0	11,3±1,3
III	2,2±0,7	6,8±1,4	24,1±1,7	1,25±0,02	43,3±3,6	24,8±2,1
IV	3,1±0,6	7,3±1,8	30,5±2,1	1,10±0,03	51,3±4,2	19,3±1,7
V	1,7±0,3	5,2±1,2	21,4±1,8	1,30±0,03	38,3±2,6	16,3±1,3
VI	2,7±0,4	6,2±1,3	26,7±2,0	1,12±0,02	47,5±3,1	18,4±1,6
VII	2,0±0,5	4,8±1,1	20,5±1,5	1,28±0,03	40,1±2,0	20,1±1,1
VIII	3,7±0,6	8,1±2,0	30,5±2,3	1,05±0,04	56,3±4,2	21,4±1,4
IX	3,8±0,6	8,8±1,3	35,2±3,0	1,02±0,03	58,4±4,6	22,4±2,0
X	4,2±0,4	9,2±1,1	37,1±2,6	0,98±0,02	60,5±4,8	24,1±1,6
XI	4,4±0,5	10,2±2,1	38,5±2,8	0,95±0,03	63,6±4,1	28,6±1,5
XII	4,3±0,3	10,1±1,9	36,4±2,7	0,97±0,02	62,3±3,6	26,5±1,3
ППФ	6,7±0,5	15,17±2,4	41,2±1,6	0,75±0,03	68,6±2,1	32,3±1,2

Как свидетельствуют данные, мощность лесной подстилки уменьшена на разных ПП от 1,5 до 4,5 раз в сравнении с фоновым значением, что указывает на замедление процесса разложения дернины из-за угнетения деятельности микрокомплекса. О сильной уплотненности горизонтов, следовательно, о нарушении их структуры, можно судить по негативным изменениям их физических параметров: плотность увеличена в 1,5–2,0 раза, влажность и пористость снижены в 1,3–2,5 раза, уровень аэрации – до 3 раз. Как следствие, гумусовые горизонты имеют существенно сниженную, от 1,5 до 3,2 раза, мощность. О том, как нарушение физических параметров отражается на питательном режиме почвы на обследованных ПП, свидетельствуют данные табл. 2, показывающей уровень обменных катионов в почвенном поглощающем комплексе (ППК).

Таблица 2.

Содержание обменных катионов ППК в верхних почвенных горизонтах на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=76$)

№ ПП	[K ⁺], мг/кг×10 ²	[Na ⁺], мг/кг	[Ca ²⁺], мг/кг×10 ²	[Mg ²⁺], мг/кг×10 ²	Сумма [K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺], мг/ кг×10 ²
I	8,24±1,32	22,10±2,12	32,67±3,81	10,89±2,31	52,02±3,35
II	18,79±3,31	55,35±5,24	99,85±6,28	24,71±4,42	143,90±7,32
III	15,41±3,32	38,70±3,27	74,52±6,41	18,33±3,85	108,64±5,21
IV	14,32±2,12	28,10±2,21	71,33±4,82	17,22±3,71	103,15±4,29
V	17,37±3,23	37,57±3,28	97,65±7,31	23,51±5,12	138,91±5,61
VI	12,26±4,61	35,14±2,11	57,23±3,87	15,38±2,42	85,22±3,23
VII	18,11±3,52	41,22±3,34	81,32±8,33	24,32±4,41	124,16±5,89
VIII	12,61±2,32	33,13±3,17	46,81±3,44	21,17±2,11	80,92±2,12
IX	10,12±2,51	29,12±2,03	38,85±3,28	13,70±1,22	62,96±1,08
X	10,05±1,04	27,78±1,01	31,21±3,48	11,22±2,36	52,76±1,11
XI	9,55±1,31	22,45±1,07	28,45±2,22	8,28±2,31	46,50±1,32
XII	8,79±1,22	23,06±1,14	30,12±1,29	5,87±0,77	45,01±1,27
ПП Ф	8,12±1,16	21,89±1,27	27,56±1,38	5,21±0,72	42,12±1,12

Обнаружено, что на большинстве ПП уровень отдельных элементов и их сумма в ППК значительно выше в сравнении с фоновой ПП, при этом особо выделяются ПП II (пос. Листвянка), ПП V (г. Слюдянка), ПП VII (г. Байкальск), где суммарное количество элементов превышает фоновое более, чем в 2 раза. Однако, это не имеет позитивного значения, поскольку нарушение физических характеристик почвы привело к значительному увеличению ее минеральной части над органической, что вызвало возрастание доли гидроксокатионов кальция, магния, калия, натрия в составе коллоидных соединений ППК.

Коллоидные соединения обладают высокой удерживающей способностью к обменно поглощенным ионам K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, которые становятся плохо растворимыми в почвенном растворе, а значит менее доступными для корневой системы растений. Вдобавок, увеличение уровня обменных катионов щелочного состава привело к повышению содержания подвижных форм ряда тяжелых металлов (табл. 3). Как было показано ранее [19], это происходит за счет образования в почвах органо-минеральных комплексов, например, таких K₂[Zn(OH)₄], Na₂[Pb(OH)₄], Na₂[Cd(OH)₄].

Таблица 3.

Содержание подвижных форм тяжёлых металлов в верхних почвенных горизонтах на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=76$)

№ ПП	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Fe, мг/кг×10 ²
I	9,32±1,18	0,08±0,02	5,23±1,45	23,71±8,72	50,23±5,32
II	18,45±2,34	0,23±0,07	16,74±1,13	78,36±7,41	97,36±9,52
III	12,47±2,12	0,11±0,03	9,85±2,47	53,41±6,35	84,45±8,62
IV	8,31±1,10	0,10±0,04	7,35±2,89	47,56±4,75	78,35±7,56
V	16,27±2,47	0,17±0,08	13,55±2,78	68,51±6,11	91,23±5,42
VI	13,25±3,42	0,14±0,05	7,10±2,49	56,45±5,42	79,33±6,12
VII	17,88±4,56	0,19±0,09	15,52±3,38	95,65±8,72	99,85±9,17
VIII	12,33±3,87	0,13±0,02	6,89±2,28	51,17±3,85	76,65±7,28
IX	11,22±1,59	0,10±0,03	6,78±1,13	48,70±3,22	65,79±7,41
X	10,95±1,35	0,09±0,01	6,33±1,10	46,52±2,28	51,33±6,64
XI	10,15±1,28	0,08±0,01	5,87±1,45	32,47±4,41	53,23±5,31
XII	10,25±1,36	0,09±0,01	5,93±1,85	34,89±5,23	56,17±6,28
ПП Ф	6,02±1,01	0,05±0,01	4,10±1,02	21,41±2,31	48,28±3,41

Полученные данные указывают, что воздействие рекреационной нагрузки вызвало выраженное изменение питательного режима почвы, что можно считать одним из проявлений нарушения природных биогеохимических циклов элементов. Последующее развитие этого процесса ведёт к негативным изменениям в питательном статусе растений, что подтверждается результатами исследований содержания биогенных элементов в хвое сосны на всех ПП. Был выявлен существенный уровень дисбаланса биогенных элементов и ряда соединений в хвое (рис. 2). Обнаружено возрастание содержания азота общего за счет азота небелкового, в то время как уровень азота белкового, как правило, снижался, скорее всего, из-за общего подавления синтеза высокомолекулярных соединений. Значимо уменьшалось содержание фосфора общего, особенно это было характерно для ПП II, где наиболее выражен пресс рекреации. Недостаток калия был меньшим и составлял в среднем 9%. Что касается магния – элемента, необходимого для синтеза хлорофилла, его содержание было существенно сниженным в хвое сосны на всех ПП на 30-34%. Соответственно этому, проведенный анализ хвои на содержание хлорофилла показал падение его уровня на разных ПП от 18 до 36% в сравнении с фоновым значением.

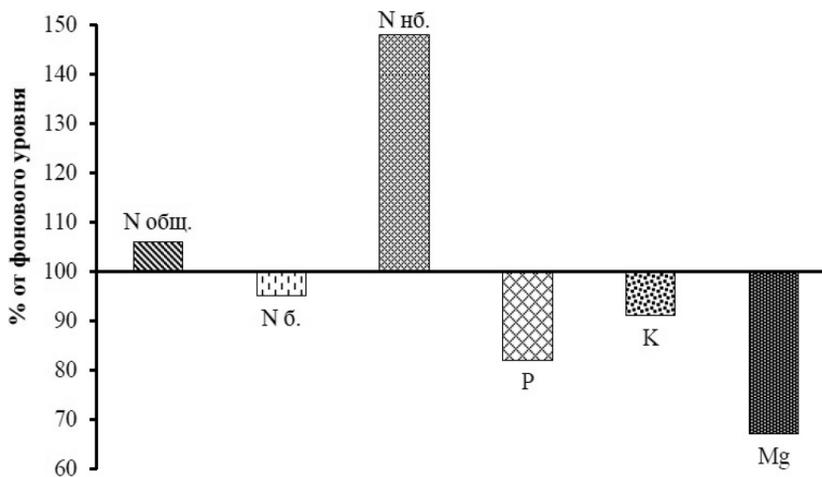


Рис. 2. Изменение среднего содержания (в %) биогенных элементов и соединений в хвое сосны на южном побережье оз. Байкал в условиях рекреационной нагрузки. Обозначения: N общ. – азот общий, N б. – азот белковый, N нб. – азот небелковый, P – фосфор, K – калий, Mg – магний

Следствием дисбаланса элементов-биогенов явилось замедление ростовых процессов деревьев, о чем можно судить по состоянию морфометрических параметров хвои, побегов, стволов. Практически на всех ПП обнаруживается снижение большинства параметров и увеличение уровня дефолиации крон деревьев сосны (табл. 4). Особенно высокий уровень дефолиации зарегистрирован на ПП II (пос. Листвянка), ПП IV (г. Слюдянка), ПП V (КБЖД), ПП VII (г. Байкальск). Следует упомянуть, что на ПП II, IV, VII определенный «вклад» в ослабление древостоев ранее был обусловлен также и воздействием техногенных эмиссий [12]. В начале 2000-х годов в окрестностях пос. Листвянка, г. Слюдянка и г. Байкальска выявлялся слабый уровень загрязнения лесов вследствие повышенного содержания поллютантов, прежде всего серы, в хвое деревьев. В настоящее время в пробах хвои, отобранных на всех ПП, содержание серы было повышенным в 2 раза только на двух ПП – вблизи пос. Листвянка и г. Байкальска. Из этого можно заключить, что главным фактором ухудшения состояния древостоев на южном побережье Байкала является высокий уровень рекреационной нагрузки, вызванный резко возросшим туристическим потоком, по существу – нерациональным рекреационным лесопользованием.

Таблица 4.

Морфометрические параметры деревьев сосны на пробных площадях на южном побережье оз. Байкал ($P=0,05$, $n=62$)

№ ПП	Диаметр ствола, см	Длина побега*, см	Число пар хвоек на побеге, шт.	Масса хвои побега, г	Продолжительность жизни хвои, лет	Уровень дефолиации крон, %
I	31,3±8,2	9,4±3,4	85,9±7,9	2,07±0,54	5	25
II	23,4±2,1	8,8±2,9	60,8±16,4	1,01±0,20	3	45
III	30,8±3,7	16,9±2,6	90,9±10,6	3,29±0,79	4–5	25
IV	24,8±1,7	9,7±2,3	71,7±17,9	1,97±0,63	4	35
V	27,4±2,8	12,2±1,8	69,5±10,3	2,14±0,22	4	40
VI	39,9±9,1	12,3±1,6	68,6±7,2	2,23±0,46	4	25
VII	32,5±1,8	6,6±2,9	54,8±8,9	1,38±0,49	4	40
VIII	25,4±3,7	15,7±2,5	90,2±16,1	2,31±0,71	4	25
IX	37,6±5,6	16,7±1,6	74,1±16,2	2,21±0,86	4	25
X	23,6±4,9	11,9±3,4	69,8±20,1	1,67±0,62	4	35
XI	29,6±4,8	13,3±2,3	61,0±12,6	1,83±0,51	4	25
XII	23,1±5,8	12,5±0,8	63,2±8,8	1,20±0,42	4	30
III Ф	37,9±2,4	17,8±1,6	115,7±13,9	4,13±0,89	6–7	15

*Исследовались побеги 2-го года жизни как наиболее физиологически активные.

Вместе с тем, отрицательное воздействие обоих антропогенных факторов имеет схожесть, поскольку и в том, и в другом случае в лесной экосистеме происходит существенное нарушение биогеохимических процессов, при техногенном загрязнении – из-за нерегулируемого привноса элементов-поллютантов, при рекреационной нагрузке – как следствие искажения морфоструктурных и физико-химических свойств почвенных горизонтов. В обоих случаях выявляется экосистемный дисбаланс элементов-биогеоценозов, вызывающий ухудшение питательного статуса лесов, их структурно-функциональную трансформацию, что может привести к распаду биогеоценозов.

Заключение

Показано нарушение состояния лесных биогеоценозов на южном побережье оз. Байкал вследствие высокого уровня рекреационной нагрузки, вызванного резко возросшим в последние десятилетия туристическим потоком. Пресс рекреации инициирует негативный процесс, имеющий системный характер, что установлено при исследовании основных ком-

понентов лесных биогеоценозов – древостоя и почвы. Существенное нарушение физико-химических характеристик почвы повлекло искажение биогеохимических процессов, что привело к дисбалансу биогенных элементов в ППК и ухудшению питательного режима почвы, соответственно, это вызвало дисбаланс элементов в ассимиляционных органах деревьев. Последующее ухудшение питательного статуса древостоев проявилось в угнетении их ростовых параметров. Таким образом, нерациональное рекреационное лесопользование может привести к выраженной дигрессии лесных экосистем, поэтому необходимы безотлагательные меры по снижению рекреационной нагрузки на южном побережье оз. Байкал. В этом плане особого внимания требуют зоны рекреации, прилегающие к пос. Листвянка, г. Байкальску, а также к Кругобайкальской железной дороге.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (проекты № 20-44-380009 и № 20-44-380016).

Список литературы

1. Байкал. Атлас. М.: Роскартография. 1993. 160 с.
2. Байкаловедение: в 2-х кн. Новосибирск: Наука, 2012. Кн. 1. 468 с.
3. Большаков Н.М. Рекреационное лесопользование СЛИ: Сыктывкар. 2006. 312 с.
4. Бычков И.В., Максимова И.И., Кузнецова А.Н. Институциональное обеспечение реализации системного подхода к мониторингу уникальной экосистемы озера Байкал // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 43-52.
5. Воложнина С.Ж., Новикова С.А., Ясько Ф.М. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на территории туристско-рекреационной зоны побережья озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 22. С. 15–29. <https://izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=155>
6. Гунин П.Д., Бажа С.Н., Балданов Б.Ц., Басхаева Т.Г., Дробышев Ю.И., Дугаржав Ч., Концов С.В., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Хадбаатар С., Цыремпилов Э.Г. Обезлесение – одна из важнейших экологических проблем бассейна озера Байкал // Экосистемы: Экология и динамика. 2017. Т. 1, № 3. С. 38-99.
7. Истомина Е.А., Цыганкова М.В., Евстропьева О.В. Ландшафтно-рекреационный потенциал центральной экологической зоны Байкальской природной территории (в границах Иркутской области) // Современные проблемы

- сервиса и туризма. 2018. Т. 12, № 3. С. 97–109. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10309>
8. Козлов В.В., Хромешкин В.М., Шагдуров А.А. Ландшафтно-эстетическая оценка прибрежных территорий отдыха в котловине озера Байкал // Вестник ИРГТУ. 2014. №2 (85). С. 134-143. http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2014/02/articles/20
 9. Корытный Л.М., Евстропьева О.В. О разработке правил организации туризма и отдыха в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Современные проблемы сервиса и туризма. 2018. Т. 12, № 3. С. 31–42. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10303>
 10. Методы изучения лесных сообществ. СПб: НИИХимии Санкт-Петербургского гос. ун-та. 2002. 240 с.
 11. Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В., Афанасьева Л.В. Создание баз данных о состоянии сосновых лесов Байкальского региона // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 3-11. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200301>
 12. Михайлова Т.А., Плешанов А.С., Афанасьева Л.В. Картографическая оценка загрязнения лесных экосистем Байкальской природной территории техногенными эмиссиями // География и природные ресурсы. 2008. №4. С. 18-23. <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2008-4/18.pdf>
 13. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Изд-во Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 168 с.
 14. Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Макухин В.Л., Ходжер Т.В., Чипанина Е.В. Дальний перенос шлейфов атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ на акваторию Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 60–65. <https://doi.org/10.15372/AOO20170108>
 15. ОСТ измерение рекреационных нагрузок. ВНИИЛМ. 1995. С. 113.
 16. Отчет Агентства по туризму Иркутской области о проделанной работе за 2018 год [Электронный ресурс]. <https://irkobl.ru/sites/tour/report> (дата обращения 08.04.2021).
 17. Состояние лесов мира – 2020. Леса, биоразнообразие и люди. [Пер. с англ.] Рим: ФАО и ЮНЕП. 2020. 228 с. <https://doi.org/10.4060/ca8642ru>
 18. Удалых С.К., Жиленко В.Ю. Проблемы и перспективы развития экологического туризма в Байкальском регионе // Научный результат. Сер. Технологии бизнеса и сервиса. 2016. Т. 2, №2(8). С. 15-21. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-2-15-21>
 19. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Биогеохимическое перераспределение свинца в урбоэкосистеме (на примере Иркутска) // Химия в интересах

- устойчивого развития. 2011. Т. 19, № 2. С. 203-209. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/c0f/c0f54c11fb81d088b410deec158134ca.pdf>
20. Gundersen V., Köhler B. and Myrvold K.M. Seeing the Forest for the Trees: A Review-Based Framework for Better Harmonization of Timber Production, Biodiversity, and Recreation in Boreal Urban Forests // *Urban Science*. 2019. Vol. 3. No 4, 113. <https://doi.org/10.3390/urbansci3040113>
 21. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings // *Forests*. 2016. Vol. 7, No 6, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
 22. Horal L., Khvostina I., Shyiko V., Radin M., Korol S., Panevnyk T. Sustainable development of forest recreation management as a basis for environmental safety // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 628. 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/628/1/012013>
 23. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre. Hamburg, 2010. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
 24. Pohjanmies T., Triviño M., Le Tortoreca E., Mazziottab A., Snäll T., Mönkkönen M. Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective // *AMBIO*. 2017. Vol. 46. P. 743-755. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0919-5>
 25. Rulleau B., Dehez J., Point P. The tourist recreational demand for coastal forests: Do forests really matter? // *Review of Agricultural and Environmental Studies*. Vol. 92, No 3. P. 291-310. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01201228>

References

1. *Baykal. Atlas* [Baikal. Atlas]. M.: Roskartografiya, 1993, 160 p.
2. *Baikalovedeniye: v 2-kh kn.* [Baikal Studies in 2 books]. Novosibirsk: Nauka, 2012, Book 1, 468 p.
3. Bolshakov N.M. *Rekreatsionnoye lesopol'zovaniye* [Recreational forest management]. SLI: Syktyvkar, 2006, 312 p.
4. Bychkov I.V., Maksimova I.I., Kuznetsova A.N. *Geografiya i prirodnnyye resursy* [Geography and Natural Resources], 2015, no. 11, pp. 43-52.
5. Vologzhina S.Zh., Novikova S.A., Yasko F.M. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [Irkutsk State University Bulletin. Earth Science Series], 2017, Vol. 22, pp. 15-29. <https://izvestiageo.isu.ru/ru/article/file?id=155>
6. Gunin P.D., Bazha S.N., Baldanov B.Ts., Baskhaeva T.G., Drobyshev Yu.I., Dugarzhav Ch., Kontsov S.V., Ubugunov V.L., Ubugunova V.I. , Khadbaatar

- S., Tsyrempilov E.G. *Ekosistemy: Ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], 2017, Vol. 1, no. 3, pp. 38-99.
7. Istomina Ye.A., Tsygankova M.V., Yevstrop'yeva O.V. *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern Problems of Service and Tourism], 2018, no. 3, pp. 97-109. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10309>
 8. Kozlov V.V., Khromeshkin V.M., Shagdurov A.A. *Vestnik IRGTU* [Bulletin of ISTU], 2014, no. 2 (85), pp. 134-143. http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2014/02/articles/20
 9. Korytnyy L.M., Yevstrop'yeva O.V. *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern Problems of Service and Tourism], 2018, no. 3, pp. 31-42. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10303>
 10. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for Studying Forest Communities]. SPb: Research Institute of Chemistry of the St. Petersburg university, 2002, 240 p.
 11. Mikhaylova T.A., Kalugina O.V., Shergina O.V., Afanas'yeva L.V. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2020, no. 3, pp. 3-11. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200301>
 12. Mikhaylova T.A., Pleshanov A.S., Afanas'yeva L.V. *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and Natural Resources], 2008, no. 4, pp. 18-23. <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2008-4/18.pdf>
 13. Motuzova G.V. *Soyedineniya mikroelementov v pochvakh: sistemnaya organizatsiya, ekologicheskoye znachenije, monitoring* [Compounds of Trace Elements in Soils: Systemic Organization, Ecological Significance, Monitoring]. M.: Publishing House «LIBROKOM», 2012, 168 p.
 14. Obolkin V.A., Potemkin V.L., Makukhin V.L., Khodzher T.V., Chipanina Ye.V. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the Atmosphere and Ocean], 2017, Vol. 30, no.1, pp. 60-65. <https://doi.org/10.15372/AOO20170108>
 15. *OST izmereniye rekreatsionnykh nagruzok* [OST Measurement of Recreational Loads]. VNIILM, 1995, 113 p.
 16. *Otchet Agentstva po turizmu Irkutskoy oblasti o prodelannoy rabote za 2018 god* [Report of the Agency for Tourism of the Irkutsk Region on the Work Done for 2018]. URL: <https://irkobl.ru/sites/tour/report> (accessed April, 8, 2021).
 17. *Sostoyaniye lesov mira – 2020. Lesa, bioraznoobraziye i lyudi* [State of the World's Forests – 2020. Forests, Biodiversity and People]. Translation from English. Rome: FAO and UNEP, 2020, 228 p. <https://doi.org/10.4060/ca8642ru>
 18. Udalykh S.K., Zhilenko V.Yu. *Nauchnyy rezul'tat. Ser. Tekhnologii biznesa i servisa* [Scientific Result. Ser. Business and Service Technologies], 2016, Vol. 2, no. 2 (8), pp. 15-21. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-2-15-21>

19. Shergina O.V., Mikhaylova T.A. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2011, vol. 19, no. 2, pp. 203-209. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/c0f/c0f54c11fb81d088b410deec158134ca.pdf>
20. Gundersen V., Köhler B. and Myrvold K.M. Seeing the Forest for the Trees: A Review-Based Framework for Better Harmonization of Timber Production, Biodiversity, and Recreation in Boreal Urban Forests. *Urban Science*, 2019, vol. 3, no. 4, 113. <https://doi.org/10.3390/urbansci3040113>
21. Gundersen V. and Vistad O.I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings. *Forests*, 2016, vol. 7, no. 6, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
22. Horal L., Khvostina I., Shyiko V., Radin M., Korol S., Panevnyk T. Sustainable development of forest recreation management as a basis for environmental safety. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 628, 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/628/1/012013>
23. *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests*. UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre, Hamburg, 2010. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>
24. Pohjanmies T., Triviño M., Le Tortoreca E., Mazziotto A., Snäll T., Mönkkönen M. Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective. *AMBIO*, 2017, vol. 46, pp. 743-755. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0919-5>
25. Rulleau B., Dehez J., Point P. The tourist recreational demand for coastal forests: Do forests really matter? *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 2011, vol. 92, no. 3. pp. 291-310. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01201228>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Михайлова Татьяна Алексеевна, д.б.н., заведующая лабораторией природных и антропогенных экосистем
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
mikh@sifibr.irk.ru

Шергина Ольга Владимировна, к.б.н. старший научный сотрудник лаборатории природных и антропогенных экосистем
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
sherolga80@mail.ru

Калугина Ольга Владимировна, к.б.н. старший научный сотрудник лаборатории природных и антропогенных экосистем
Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
olignat32@inbox.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana A. Mikhailova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory Natural and Anthropogenic Ecosystems
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
mikh@sifibr.irk.ru
SPIN-code: 5185-4361
ORCID: 0000-0003-2214-8690
ResearcherID: I-9715-2018
Scopus Author: 15725975200

Olga V. Shergina, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory Natural and Anthropogenic Ecosystems
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
sherolga80@mail.ru
SPIN-code: 8646-5549
ORCID: 0000-0002-6333-8821
ResearcherID: I-9646-2018
Scopus Author ID: 55902360500

Olga V. Kalugina, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory Natural and Anthropogenic Ecosystems
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
olignat32@inbox.ru
SPIN-code: 5805-2159
ORCID: 0000-0001-6500-748X
ResearcherID: I-9669-2018
Scopus Author ID: 36190781000

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-261-275

УДК 582.572.8(470.47)

СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВИТАЛИТЕТНАЯ СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *TULIPA GESNERIANA* L. НА ЕРГЕНИНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

*Н.Ц. Лиджиева, А.С. Очирова,
Ж.В. Овадыкова, С.В. Убушаева*

Обоснование. Изучение жизненности индивидуумов и виталитетной структуры популяций является одним из актуальных подходов в оценке состояния редких видов растений, к которым относится объект исследования.

Цель. Определение структуры морфологической изменчивости и виталитетной структуры ценопопуляций *Tulipa gesneriana* L. на Ергенинской возвышенности.

Материалы и методы. Исследования проводили в течение двух вегетационных сезонов в трех ценопопуляциях из разных растительных сообществ. Уровень изменчивости 12 морфологических признаков растений оценивали по С.А. Мамаеву. В структуре изменчивости выделяли группы системных индикаторов. Для оценки пластичности признака использовали индекс фитоценотической пластичности, виталитетного спектра популяций – методику Ю.А. Злобина, виталитетной структуры популяции – индекс виталитета, виталитетного типа – критерий Q , степени процветания или депрессивности ценопопуляций – индекс IQ .

Результаты. Большинство изученных признаков растений *T. gesneriana* в первый год исследования имели большие значения, чем в следующем году, варьируя при этом преимущественно среднем и повышенном уровне. В следующем году уровень варьирования признаков возрос.

Структуру изменчивости морфологических признаков *T. gesneriana* в первый год исследования слагали группы эколого-биологических и биологических системных индикаторов, в следующем году наряду с данными двумя группами появилась группа экологических системных индикаторов. Оценка жизненности ценопопуляций *T. gesneriana* выявила, что они относятся к типу «процветающие». Степень процветания ценопопуляций колебалась по годам.

Заключение. Таким образом, ценопопуляции *T. gesneriana* относились к виталитетному типу «процветающие». Во второй год исследования в ценопопуляциях *T. gesneriana*, показатели жизнеспособности ухудшались.

Ключевые слова: *T. gesneriana* L.; ценопопуляция; структура морфологической изменчивости; виталитетная структура

Для цитирования. Лиджиева Н.Ц., Очирова А.С., Овадыкова Ж.В., Убушаева С.В. Структура морфологической изменчивости и виталитетная структура ценопопуляций *Tulipa gesneriana* L. на Ергенинской возвышенности // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 261-275. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-261-275

STRUCTURE OF MORPHOLOGICAL VARIABILITY AND VITALITY STRUCTURE OF CENOPOPULATIONS OF *TULIPA GESNERIANA* L. ON THE ERGENINSKAYA HILL

*N.Ts. Lidzhieva, A.S. Ochirova,
Zh.V. Ovadykova, S.V. Ubushaeva*

Background. The study of the vitality of individuals and the vital structure of populations is one of the most relevant approaches to assessing the state of rare plant species, which includes the object of research.

Purpose. The determination of the structure of morphological variability and vital structure of the coenopopulations of *Tulipa gesneriana* L. on the Ergeninsky Hill.

Materials and methods. The studies were carried out during two growing seasons in three coenopopulations from different plant communities. The level of variability of 12 morphological traits of plants was estimated according to S. A. Mamaev. Groups of system indicators were distinguished in the structure of variability. To assess the plasticity of a trait, the index of phytocenotic plasticity was used, and the vitalit spectrum of populations was used using the Yu. A. Zlobin's method, vitalit population structure – vitalit index, vitalit type – Q criterion, degree of prosperity or depressiveness of coenopopulations – IQ index.

Results. Most of the studied traits of *T. gesneriana* plants in the first year of the study had higher values than in the following year, while varying mainly at the average and elevated levels. In the following year, the degree of variation in the signs increased.

The structure of the variability of morphological indicators of *T. gesneriana* in the first year of the study was composed of groups of ecological-biological and biologi-

cal system indicators, in the following year, along with these two groups, a group of ecological system indicators appeared. An assessment of the viability of *T. gesneriana* coenopopulations revealed that they belong to the «thriving» type. The degree of prosperity of the coenopopulations, estimated using IQ, varied over the years.

Conclusion. Thus, the coenopopulations of *T. gesneriana* belonged to the vital type «thriving». In the second year of the study in the coenopopulations of *T. gesneriana*, the vital signs deteriorated.

Keywords: *Tulipa gesneriana* L.; coenopopulation; structure of morphological variability; vital structure

For citation. Lidzhiyeva N.Ts., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V., Ubushaeva S.V. The structure of morphological variability and vitality structure of coenopopulations of *Tulipa gesneriana* L. on the Ergeninskaya Hill. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 261-275. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-261-275

Морфобиологическая неоднородность особей в популяциях имеет в своей основе различие по комплексу их биологических свойств и особенностей, неоднородность условий обитания в растительном сообществе. В тоже время внутривидовая дифференциация является существенным фактором обеспечения гомеостаза популяции, проблема поддержания которого особенно важна для редких видов.

В морфогенезе растений интегрирован уровень процессов метаболизма, в связи с чем морфологический статус вегетативных и генеративных органов позволяет характеризовать жизнеспособность особей [1]. Под виталитетом понимают жизненное состояние растительных индивидуумов, с опорой на морфометрические показатели, оценивающие рост и продуктивность растений [1, 14]. Изучение жизнеспособности индивидуумов и виталитетной структуры популяций является одним из актуальных подходов в оценке состояния редких видов растений. К их числу относится объект нашего исследования – луковичный поликарпик, эфемероид *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae), рекомендованный к охране во многих регионах [5, 7 и др.]. В Красной книге Российской Федерации [6] вид отнесен к видам, сокращающимся в численности. Это обуславливает возрастающий интерес к изучению особенностей биологии и популяционным характеристикам видов рода *Tulipa* [8,10, 11, 12, 15, 18-20 и др.].

Цель исследования: определение структуры морфологической изменчивости и виталитетной структуры ценопопуляций *Tulipa gesneriana* L. на Ергенинской возвышенности в пределах Республики Калмыкия.

Материал и методика

Исследования проводили в вегетационные сезоны 2017-2018 гг. в трех ценопопуляциях из разных растительных сообществ, произрастающих на светло-каштановой почве, разной степени засоления. Ценопопуляция № 1 приурочена к луковичномятликово – типчаково – ковылково – лерхопольному (*Artemisia lerchiana* – *Stipa lessingiana* – *Festuca valesiaca* – *Poa bulbosa*) сообществу, ценопопуляция № 2 – разнотравно-ковылково-лерхопольное (*Artemisia lerchiana* – *Stipa lessingiana* – *Mixteherbosa*) сообществу, ценопопуляция № 3 – злаково-прутняково-лерхопропыльному (*Artemisia lerchiana* – *Kochia prostrata* – *Poa*) сообществу.

В каждой ценопопуляции случайным образом отбирали не менее 30 особей среднегенеративного возрастного состояния [14]. У них осуществляли изменение двенадцати морфологических признаков вегетативных и генеративных органов, без уничтожения особей [3].

Для оценки уровня изменчивости использовали коэффициент вариации, считая при его значениях < 7% изменчивость признака очень низкой; 7-12% – низкой, 13-20% – средней; 21-40% – высокой, > 40% – очень высокой [9].

В структуре морфологической изменчивости выделяли группы системных индикаторов, используя особенности общей и согласованной изменчивости [13]. Согласованную изменчивость параметров определяли путем расчета коэффициента детерминации, представляющего собой коэффициент корреляции, усредненный для каждого учитываемого показателя.

Пластичность признака оценивали сопоставлением средних значений признаков за два года исследований как частное амплитуды пластичности и коэффициента свободного развития, представляющее собой наибольшее значение признака в оптимальных условиях: $I_p = (A + B) / A$, где I_p – индекс фитоценотической пластичности, А – максимальное, В – минимальное среднее значение признака в годы наблюдений [2].

Жизненность индивидуумов *T. gesneriana* характеризовали индексом виталитета особи (IVI) [1]. Ключевые признаки для вычисления индекса виталитета особи устанавливали с помощью предварительно проведенного корреляционного анализа.

Виталитетный спектр популяций получали с помощью методики Ю.А. Злобина [1]. Для этого ранжированный по индексу виталитета ряд особей распределяли по трем классам: «а» – с высоким, и пределах границ доверительного интервала среднего арифметического ($\bar{x} \pm \delta$).

Виталитетную структуру популяции характеризовали с помощью индекса виталитета ценопопуляции (IVC) [3]. При этом полагая, что наиболь-

шие значения индекса IVC отражают благоприятные условия реализации потенциала роста, а наименьшие - неблагоприятные [4].

Виталитетный тип ценопопуляций выявляли, применяя с помощью критерия Q: у процветающих ценопопуляций $Q = \frac{1}{2} (a + b) > c$, у равновесных ценопопуляций $Q = \frac{1}{2} (a + b) = c$, у депрессивных ценопопуляций $Q = \frac{1}{2} (a + b) < c$ [1].

Степень процветания или депрессивности ценопопуляций характеризовали индексом $I_Q = (a + b)/2c$ [16]. Значение данного индекса, равное единице, соответствует равновесному состоянию ценопопуляции. Чем больше значение I_Q отклоняется от единицы, тем больше степень процветания и депрессии.

Результаты

В ценопопуляциях *T. gesneriana* на Ергенинской возвышенности высота растений достигала 81,9-132,7 мм длина первого междоузлия – 9,8-22,6 мм, длина второго междоузлия – 12,7-25,2 мм, длина цветочной стрелки – 34,6 – 90,0 мм, длина листочка околоцветника – 24,2 – 35,8 мм, ширина листочка околоцветника – 12,3-18,9 мм, длина нижнего листа 69,3-105,3 мм, ширина нижнего листа – 17,6 – 21,7 мм, длина среднего листа 59,6-82,7 мм, ширина среднего листа – 9,8-13,6 мм, длина верхнего листа – 44,2-66,9 мм, ширина верхнего листа – 6,3 – 9,8 мм.

Полученные данные по изменчивости биометрических признаков в ценопопуляциях *T. gesneriana* в два года исследования были скоррелированы с погодными условиями в период активной вегетации растений (табл. 1).

Таблица 1.

Месяц	2017 г.		2018 г.		2017 г.		2018 г.		2017 г.		2018 г.	
	t (°C)	Осадки (мм)	t (°C)	Осадки (мм)	t (°C)	Осадки (мм)	t (°C)	Осадки (мм)	t (°C)	Осадки (мм)	t (°C)	Осадки (мм)
	Ценопопуляция № 1				Ценопопуляция № 2				Ценопопуляция № 3			
Март	4,5	30,4	-2,8	58,9	4,2	33,4	-1,6	58,8	4,2	33,4	-1,6	58,8
Апрель	10,8	53	10,5	11,2	9,4	38,1	10	3,2	10	38,1	10	3,2

Морфологические признаки, определяемые ростовыми процессами организма, связаны с их приспособленностью к условиям обитания, уровню

плотности, фитоценотической обстановке к [16, 17]. Большинство признаков растений *T. gesneriana* в 2017 г. с большим объемом осадков и более высокими температурами марта-апреля имели большие значения, чем в 2018 году.

Соответственно в первый год исследования признаки варьировали преимущественно среднем и повышенном уровне. Очень высокий уровень изменчивости ($C_v = 42,6\%$) выявлен у длины первого междоузлия, высокий уровень изменчивости ($C_v = 33,2\%$) – у длины второго междоузлия (табл. 2).

В следующем году признаков, варьировавших на среднем уровне не отмечалось, оба междоузлия стали варьировать на очень высоком уровне, длина цветочной стрелки и ширина верхнего листа – на высоком, остальные восемь признаков – на повышенном уровне изменчивости.

Таблица 2.

**Изменчивость биоморфологических признаков (мм)
в ценопопуляциях *Tulipa gesneriana* в 2017 году**

Признаки	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	C_v	S_{cv}	Пределы		I_p
					min	max	
Высота растения	112,2	2,78	25,94	1,75	42	191	0,19
Длина первого междоузлия	18,6	0,76	42,58	2,87	0	34	0,34
Длина второго междоузлия	21,8	0,69	33,24	2,24	4	49	0,12
Длина цветочной стрелки	38,4	0,98	26,66	1,80	19	68	0,21
Длина листочка околоцветника	33,2	0,48	14,82	1,00	20	46	0,13
Ширина листочка околоцветника	18,5	0,34	19,30	1,30	6	32	0,04
Длина нижнего листа	96,3	1,75	19,05	1,28	51	140	0,19
Ширина нижнего листа	20,8	0,39	19,88	1,34	11	31	0,11
Длина среднего листа	79,6	2,17	28,60	1,93	19	131	0,36
Ширина среднего листа	13,1	0,29	22,97	1,55	6	21	0,12
Длина верхнего листа	57,3	1,58	28,94	1,95	23	92	0,34
Ширина верхнего листа	9,2	0,23	26,78	1,81	4	17	0,17

В 2017 году наибольшую пластичность отмечали для трех признаков (I_p 0,34-0,36): длина первого междоузлия, длина среднего и верхнего листьев. В 2018 г. наряду с первым междоузлем высоко пластичными были высота растения, длина второго междоузлия и цветочной стрелки. Остальные признаки были менее пластичными. Наиболее константным показателем, обнаружившим минимальный уровень пластичности в 2017 г. была ширина листочка околоцветника ($I_p = 0,04$), в 2018 г. – ширина нижнего листа ($I_p = 0,08$) (табл. 2, 3).

Таблица 3.

**Изменчивость биоморфологических признаков (мм)
в ценопопуляциях *Tulipa gesneriana* в 2018 году**

Признаки	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	C_v	S_{cv}	Пределы		I_p
					min	max	
Высота растения	111,2	3,16	30,08	2,01	30	185	0,38
Длина первого междоузлия	15,0	0,70	49,26	3,29	2	35	0,50
Длина второго междоузлия	19,9	0,89	47,19	3,15	1	50	0,50
Длина цветочной стрелки	48,8	2,43	39,18	2,62	14	75	0,40
Длина листочка околоцветника	27,0	0,75	21,31	1,96	10	47	0,22
Ширина листочка околоцветника	14,7	0,39	27,93	1,87	5	26	0,29
Длина нижнего листа	80,7	1,9	24,96	1,67	27	146	0,26
Ширина нижнего листа	18,6	0,38	21,50	1,44	10	30	0,09
Длина среднего листа	74,0	1,82	25,98	1,74	30	135	0,19
Ширина среднего листа	10,3	0,29	30,18	2,02	4	19	0,08
Длина верхнего листа	52	1,23	24,96	1,67	25	105	0,23
Ширина верхнего листа	6,9	0,23	35,94	2,4	2	17	0,16

Структуру изменчивости морфологических показателей *T. gesneriana* в 2017 году слагали две группы системных индикаторов [13]. В группу эколого-биологических системных индикаторов (рис. 1а, II) вошли длина первого и второго междоузлия, которые имели высокую общую и согласованную изменчивость.

Все остальные в это год исследования у *T. gesneriana* вошли в группу биологических системных индикаторов (рис. 1а, IV). В 2018 году, характеризовавшимся более неблагоприятными климатическими условиями в период роста и развития растений вида (табл. 1), наряду с данными двумя группами появилась группа экологических системных индикаторов, представленная «длиной цветочной стрелки» (рис. 1б, I). Группа эколого-биологических системных индикаторов пополнилась шириной верхнего листа (рис. 1б, II). Промежуточными между эколого-биологических и биологических системных индикаторов оказались в этот год высота растения и ширина среднего листа. Остальные признаки продолжали оставаться в группе биологических системных индикаторов (рис. 1б, IV).

Признаков обладающих низкой общей и согласованной изменчивостью, относящихся к группе генетических системных индикаторов из числа исследованных признаков в оба года исследования не выявлено.

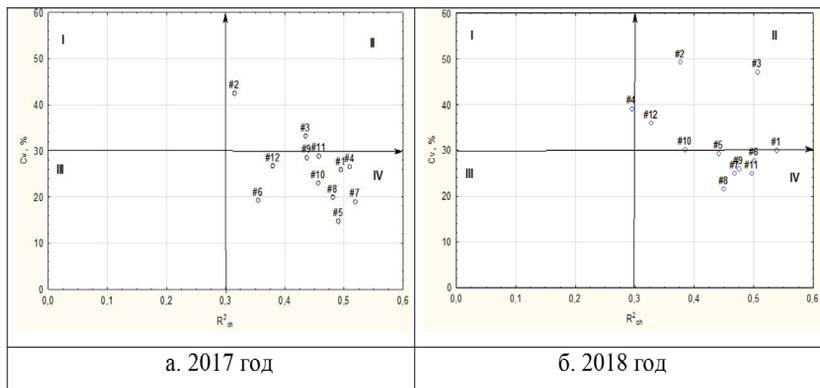


Рис. 1. Структура изменчивости морфологических показателей *T. gesneriana*: по оси абсцисс – R^2_{ch} – согласованная изменчивость признаков, по оси ординат – общая изменчивость (C_v), 1 – высота растения, 2 – длина междоузлия №1, 3 – длина междоузлия №2, 4 – длина цветочной стрелки, 5 – длина листочка околоцветника, 6 – ширина листочка околоцветника, 7 – длина нижнего листа, 8 – ширина нижнего листа, 9 – длина среднего листа, 10 – ширина среднего листа, 11 – длина верхнего листа, 12 – ширина верхнего листа

В процессе выявления ключевых признаков для вычисления индекса виталитета в ценопопуляциях *T. gesneriana* использовали результаты предварительно проведенного корреляционного анализа признаков особей. Анализ позволил выявить ключевые признаки: в 2017 году были высота растения, параметры цветка и нижнего листа; в 2018 году – высота растения, длина второго междоузлия, ширина листочка околоцветника, длины трех листьев. Коэффициенты корреляции между ключевыми признаками составила 0,5–0,8 ($p < 0,05$) в 2018 году число ключевых признаков возросло и сила связи между ними в большинстве пар сравнения была больше, чем в предыдущем году.

По результатам анализа ранжированного ряда индексов виталитета особей каждой исследованной ценопопуляции составлены виталитетные спектры (рис. 2).

Расчитанные показатели жизненности и виталитетные типы ценопопуляций *T. gesneriana* приведены в таблице 4. В 2017 году в виталитетном спектре всех исследованных ценопопуляций преобладали особи среднего класса виталитета (56,7–79,1%). Наиболее лучшее виталитетное состояние имела ценопопуляция №1 ($IVC=1,097$), наиболее плохое – ценопопуляция №3 ($IVC=0,914$).

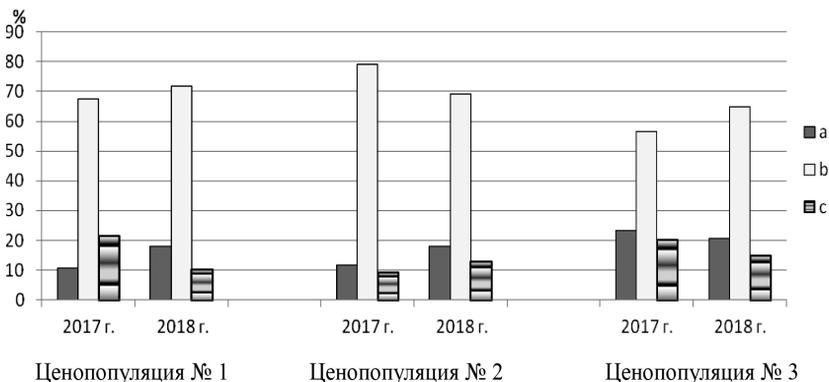


Рис. 2. Виталитетные спектры ценопопуляций *T. gesneriana*

В 2018 году особи среднего класса виталитета продолжали преобладать в виталитетном спектре. В этом году ценопопуляция №3 имела лучшее жизненное состояние, но условия года максимально негативно отразились на ценопопуляции №2 ($IVC = 0,842$). Оценка виталитета ценопопуляций *T. gesneriana* с использованием индекса IVC выявила, что его значения в 2018 году на 0,022 – 0,305 больше, чем в 2017 году.

Таблица 4.

Показатели жизнестности и виталитетный тип ценопопуляций *Tulipa gesneriana*

Ценопопуляция	Год	Частость по классам виталитета			IVC	Q	I_Q	Виталитетный тип
		a	b	c				
№1	2017	0,108	0,676	0,216	1,097	0,392	1,81	процветающая
	2018	0,180	0,718	0,103	1,178	0,449	4,35	процветающая
№2	2017	0,116	0,791	0,093	0,977	0,453	4,88	процветающая
	2018	0,180	0,692	0,128	0,809	0,436	2,70	процветающая
№3	2017	0,233	0,567	0,200	0,914	0,400	2,00	процветающая
	2018	0,206	0,647	0,147	1,014	0,426	2,90	процветающая

Оценка жизнестности ценопопуляций *T. gesneriana* с использованием критерия Q выявил, что все исследованные ценопопуляции относятся к типу «процветающие». Степень процветания в разных ценопопуляциях, оцененная с помощью I_Q , колебалась по годам исследования.

Заключение

У *T. gesneriana* наиболее высокопластичными с наибольшим ответом на изменение климатических условий года были признаки: высота растений, длина междоузлий, длина цветочной стрелки.

При последующей оценке влияния условий произрастания следует учитывать в первую очередь.

Исследованные ценопопуляции *T. gesneriana* весь период исследования относились к виталитетному типу «процветающие». В 2018 году, характеризовавшемся более низкими температурами и меньшим объемом осадков в период активной вегетации растений *T. gesneriana*, отмечали ухудшении показателей жизнестойкости, выраженном индексом IVC.

Список литературы

1. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценоотических популяций растений. Казань: издательство Казанского университета, 1989. 146 с.
2. Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы: Университетская книга, 2013. 439 с.
3. Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М. К оценке виталитета ценопопуляций *Rhodiola iremelica* Boriss. по размерному спектру // Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии. Материалы VI Всероссийского популяционного семинара. Ученые записки НТГСПА. 2004 С. 80-85.
4. Ишбирдин А.Р., Кливаденко Е.В. Ишмуратова М.М. Адаптивный морфогенез *Solanum tuberosum* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(2). С. 76-78. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2011/2011_5_2_16.pdf
5. Красная книга Республики Калмыкия: в 2 т. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения растения и грибы / отв. ред. Н.М. Бакташева. Элиста: ЗАОр «НПП «Джангар», 2014. Т. 2. 199 с.
6. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / сост. Р. В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.
7. Красная книга Ростовской области: в 2 т. Растения и грибы / науч. ред. В.В. Федяева. Ростов-на-Дону: Минприроды Ростовской области, 2014. Т. 2. 344 с.
8. Лыу Т.Н., Лиджиева Н.Ц., Лиджигоряева Ц.В. Зависимость изменчивости морфологических признаков растений от окраски околоцветника в ценопопуляции *Tulipa gesneriana* // Научная мысль Кавказа. 2015. № 4 (84). С. 119-123. <https://doi.org/10.18522/2072-0181-2015-84-4-119-123>

9. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1972. 283 с.
10. Мухаметшина Л.В., Муллабаева Э.З., Ишмуратова М.М. Особенности биологии и ценопопуляционные характеристики видов рода *Tulipa* L. на Южном Урале // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2015. №. 2. С. 101-108.
11. Очирова А.С., Зараева Б.М., Онкорова Н.Т., Лиджиева Н.Ц. Семенная продуктивность растений в ценопопуляциях видов рода *Tulipa* в условиях Республики Калмыкия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 5(4). С. 579-585. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2018/2018_5_579_585.pdf
12. Очирова А.С., Лыу Т.Н., Лиджиева Н.Ц. Изменчивость морфологических признаков растений и виталитетная структура ценопопуляций видов рода *Tulipa* (Liliaceae) в заповеднике «Черные земли» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т.18, № 5(2). С. 314-319. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2016/2016_5_314_319.pdf
13. Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2002. 308 с.
14. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Отв. ред. А.А. Уранов, Т.И. Серебрякова. М.: Наука, 1976. 217 с.
15. Chernysheva O., Bukin Y., Krivenko D. The morphometric characters variability analysis of *Tulipa uniflora* (Liliaceae) in the Angara Region (Irkutsk Oblast, Russia) // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2018, 21 August 2018, vol. 11. Article Number 00009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181100009>
16. Grime J.P. Plant Strategies and Vegetation Processes, and Ecosystem Properties. 2nd edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2001, 417 p.
17. Harper J.L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977, 892 p.
18. Kashin A.S. et al. State of cenopopulations and morphological variability of *Tulipa gesneriana* (Liliaceae) in the northern Lower Volga region // Botanicheskii Zhurnal, 2016, vol. 101, no. 12, pp. 1430-1465. <https://doi.org/10.1134/S0006813616120061>
19. Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. Some features of the environmental strategy of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida) // Biology Bulletin, 2017, vol. 44, no. 10, pp. 1237-1245. <https://doi.org/10.1134/S1062359017100053>
20. Lidzhiyeva N.C., Lyu T.N., Onkorova N.T., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Edafichesky conditions of growth cenopopulation of types of the sort *Tulipa* in the reserve «The Black soil» // Atlantis Press. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). 2019, vol. 1, pp. 616-620.

References

1. Zlobin Yu.A. *Printsipy i metody izucheniya tsenoticheskikh populyatsiy rasteniy* [Principles and methods of studying coenotic plant populations]. Kazan: Kazan University Press, 1989, 146 p.
2. Zlobin Yu.A., Sklyar V.G., Klimenko A.A. *Populyatsii redkikh vidov rasteniy: teoreticheskie osnovy i metodika izucheniya* [Populations of rare plant species: theoretical foundations and research methods]. Sumy: University book, 2013, 439 p.
3. Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M. K otsenke vitaliteta tsenopopulyatsiy *Rhodiola iremelica* Boriss. po razmernomu spektru [To assess the vitality of coenopopulations of *Rhodiola iremelica* Boriss. on the size spectrum]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy populyatsionnoy biologii. Materialy VI Vserossiyskogo populyatsionnogo seminara. Uchenye zapiski NTGSPA*. [Fundamental and applied problems of population biology. Materials of the VI All-Russian Population Seminar. Scientific notes of NTGSPA], 2004, pp. 80-85.
4. Ishbirdin A.R., Klivadenko E.V. Ishmuratova M.M. Adaptivnyy morfogenez *Solanum tuberosum* [Adaptive morphogenesis of *Solanum tuberosum*]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, vol. 13, no. 5(2), pp. 76-78. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2011/2011_5_2_16.pdf
5. *Krasnaya kniga Respubliki Kalmykiya: v 2 t. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya rasteniya i griby* [The Red Book of the Republic of Kalmykia: in 2 vol. Rare and endangered plants and mushrooms]. Elista: ZAOR «SPE «Dzhangar», 2014. vol. 2. 199 p.
6. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)]. Moscow: KMK Scientific Partnership, 2008. 885 p.
7. *Krasnaya kniga Rostovskoy oblasti: v 2 t. Rasteniya i griby* [The Red Book of the Rostov region: in 2 tons. Plants and mushrooms]. Rostov-on-Don: Ministry of Natural Resources of the Rostov Region, 2014, vol. 2, 344 p.
8. Lyu T.N., Lidzhiyeva N.Ts., Lidzhigoryaeva Ts.V. Zavisimost' izmenchivosti morfologicheskikh priznakov rasteniy ot okraski okolotsvetnika v tsenopopulyatsii *Tulipa gesneriana* [Dependence of the variability of morphological characteristics of plants on the color of the perianth in the coenopopulation of *Tulipa gesneriana*]. *Nauchnaya mysl' Kavkaza* [Scientific thought of the Caucasus], 2015, no. 4 (84), pp. 119-123. <https://doi.org/10.18522/2072-0181-2015-84-4-119-123>
9. Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy*. Moscow: Science, 1972, 283 p.
10. Mukhametshina L.V., Mullabaeva E.Z., Ishmuratova M.M. Osobennosti biologii i tsenopopulyatsionnye kharakteristiki vidov roda *Tulipa* L. na Yuzhnom Urale

- [Features of biology and cenopopulation characteristics of species of the genus *Tulipa* L. in the southern Urals]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle»* [Bulletin of the Udmurt University. Series «Biology. earth science»], 2015, no. 2, pp. 101-108.
11. Ochirova A.S., Zaraeva B.M., Onkorova N.T., Lidzhieva N.Ts. Semennaya produktivnost' rasteniy v tsenopopulyatsiyakh vidov roda *Tulipa* v usloviyakh Respubliki Kalmykiya [Seed productivity of plants in coenopopulations of species of the genus *Tulipa* under the conditions of the Republic of Kalmykia]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 20, no. 5(4), pp. 579-585. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2018/2018_5_579_585.pdf
 12. Ochirova A.S., Lyu T.N., Lidzhieva N.Ts. Izmenchivost' morfologicheskikh priznakov rasteniy i vitalitetnaya struktura tsenopopulyatsiy vidov roda *Tulipa* (Liliaceae) v zapovednike «Chernye zemli» [The variability of morphological features in plants and vitality structure of cenopopulations of species of genus *Tulipa* (Liliaceae) in the natural reserve «The Black soil»]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, vol. 1, no. 5 (2), pp. 314-319. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2016/2016_5_314_319.pdf
 13. Rostova N.S. *Korrelyatsii: struktura i izmenchivost'* [Correlations: structure and variability]. Saint-Petersburg: St. Petersburg University Publ., 2002, 308 p.
 14. *Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura)* [Cenopopulation of plants (basic concepts and structure)]. M.: Science, 1976, 217 p.
 15. Chernysheva O., Bukin Y., Krivenko D. The morphometric characters variability analysis of *Tulipa uniflora* (Liliaceae) in the Angara Region (Irkutsk Oblast, Russia). *BIO Web of Conferences. EDP Sciences*, 2018, 21 August 2018, vol. 11, Article Number 00009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181100009>
 16. Grime J.P. *Plant Strategies and Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2nd edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2001, 417 p.
 17. Harper J.L. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press, 1977, 892 p.
 18. Kashin A.S. et al. State of cenopopulations and morphological variability of *Tulipa gesneriana* (Liliaceae) in the northern Lower Volga region. *Botanicheskii Zhurnal*, 2016, vol. 101, no. 12, pp. 1430-1465. <https://doi.org/10.1134/S0006813616120061>
 19. Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. Some features of the environmental strategy of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida). *Biology Bulletin*, 2017, vol. 44, no. 10, pp. 1237-1245. <https://doi.org/10.1134/S1062359017100053>

20. Lidzhieva N.C., Lyu T.N., Onkorova N.T., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Edafichesky conditions of growth cenopopulation of types of the sort *Tulipa* in the reserve «The Black soil». *Atlantis Press. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*, 2019, vol. 1, pp. 616-620.

ВКЛАД АВТОРОВ

Лиджиева Н.Ц.: написание текста статьи, редактирование.

Очирова А.С.: получение данных, анализ полученных данных.

Овадыкова Ж.В.: обзор публикаций по теме статьи.

Убушаева С.В.: получение данных, анализ полученных данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nina Ts. Lidzhieva: article editing.

Aleksandra S. Ochirova: obtaining data.

Zhanna V. Ovadykova: reviewing of publications of the article's theme.

Saglara V. Ubushaeva: obtaining data, analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Лиджиева Нина Цереновна, д.б.н., профессор кафедры общей биологии и физиологии

*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»
ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
for-lidjieva@yandex.ru*

Очирова Александра Сергеевна, аспирант

*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»
ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
ochirova.alex@yandex.ru*

Овадыкова Жанна Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии

Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»

ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
zhanna_ovadykova@mail.ru

Убушаева Саглар Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»
ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
saglara-u@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nina Ts. Lidzhieva, Doctor of Biology, Professor Department of General Biology and Physiology
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
for-lidjieva@yandex.ru
SPIN-code: 3661-2682
ORCID: 0000-0003-2668-698X

Aleksandra S. Ochirova, Postgraduate Student
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
ochirova.alex@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9924-3368

Zhanna V. Ovadykova, Candidate of Agriculture, Associate Professor of the Department of Agronomy
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
zhanna_ovadykova@mail.ru
SPIN-code: 8079-8320
ORCID: 0000-0001-7539-6909

Saglara V. Ubushaeva, Candidate of Agriculture, Associate Professor of the Department of Agronomy
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
saglara-u@mail.ru

БИОМЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ

BIOMEDICAL CHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-276-287

УДК 544.165:547.792+004.942

QSAR МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ 1,2,4-ТРИАЗОЛА

А.Л. Осипов, В.П. Трушина

Цель. Разработка эффективных QSAR моделей предсказания антибактериальной активности для производных 1,2,4-триазола.

Методы и материалы исследования. Материалом для научных исследований послужили экспериментальные данные антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола. Исследования проводились с помощью методов: QSAR моделирования, программирования, регрессионного многомерного анализа с помощью молекулярных дескрипторов.

Результаты. В работе описываются и анализируются математические модели предсказания антибактериальной активности на основе физико-химических параметров химических веществ. Проведены вычислительные эксперименты, которые продемонстрировали эффективность предложенных моделей. Сравнительный анализ моделей позволил выявить модель с наилучшими статистическими характеристиками: MAE=0,11; MAPE=10,74; точность прогноза=89,26%; MSE=0,0186; RMSE=0,1363.

Заключение. Были разработаны QSAR модели для прогнозирования антибактериальной активности двадцати восьми производных 1,2,4-триазола. В качестве факторов в моделях использовались от одного до шести молекулярных дескрипторов, порождаемых автоматически из структурных формул. Выбраны наилучшие модели на основе вычисленных статистических характеристик.

Ключевые слова: антибактериальная активность; количественные соотношения структура - активность; производные 1,2,4-триазола; многомерная линейная регрессия; молекулярные дескрипторы

Для цитирования. Осипов А.Л., Трушина В.П. QSAR моделирование антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 276-287. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-276-287

QSAR MODELING OF ANTIBACTERIAL ACTIVITY WITH 1,2,4-TRIAZOLE DERIVATIVES

A.L. Osipov, V.P. Trushina

Purpose. Development of effective QSAR models for predicting antibacterial activity for 1,2,4-triazole derivatives.

Materials and methods. Experimental data on the antibacterial activity of 1,2,4-triazole derivatives served as the material for scientific research. The research was carried out using the following methods: QSAR modeling, programming, regression multivariate analysis using molecular descriptors.

Results. The paper describes and analyzes mathematical models for predicting antibacterial activity based on the physical and chemical parameters of chemicals. Computational experiments were carried out, which demonstrated the effectiveness of the proposed models. Comparative analysis of the models revealed the model with the best statistical characteristics: MAE=0.11; MAPE=10.74; forecast accuracy=89.26%; MSE=0.0186; RMSE=0.1363.

Conclusion. QSAR models were developed to predict the antibacterial activity of twenty-eight 1,2,4-triazole derivatives. From one to six molecular descriptors generated automatically from structural formulas were used as factors in the models. The best models are selected based on the calculated statistical characteristics.

Keywords: antibacterial activity; quantitative structure-activity relationship; 1,2,4-triazole derivatives; multiple linear regression; molecular descriptors

For citation. Osipov A.L., Trushina V.P. QSAR Modeling of Antibacterial Activity with 1,2,4-Triazole Derivatives. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 276-287. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-276-287

Введение

Методология QSAR (quantitative structure-activity relationship – поиск количественных соотношений структура-активность) – важная отрасль теоретической медицины, позволяющая прогнозировать биологическую активность новых химических соединений на основе закономерностей (касающихся структурных, физико-химических и конформационных свойств

молекул), выявленных из предыдущих опытов [1-6]. В настоящее время имеется большое количество работ российских и зарубежных исследователей, посвященных разработке эффективных QSAR моделей в химии, биологии и медицине [7-22].

В работах [5, 7] представлены эффективные QSAR модели, построенные в каждом классе опасности, для прогнозирования токсикологических параметров химических веществ на основе структурных фрагментов. В статье [8] исследовалась взаимосвязь электронных параметров молекулы с канцерогенной активностью. В работах [9, 18-21] представлены результаты прогнозирования термодинамических свойств химических веществ с помощью QSAR моделей, в основе которых лежат множественные регрессионные зависимости.

В статье [11] представлены результаты поиска биологически активных веществ с противовоспалительным действием в ряду производных N-арилзамещенных антралиловых кислот в зависимости от параметра липофильности. В работе [12] получены зависимости между физико-химическими свойствами лигандов и их сорбционной активностью, которые используются для прогнозирования связывания лекарственных веществ перфтораном. В статье [13] разработаны два корреляционных уравнения, связывающих противомикробную активность от энергии связывания, межмолекулярной энергии и константы ингибирования. В работах [14-15] разработаны QSAR модели на основе регрессионных уравнений, которые используются в молекулярном дизайне соединений с противовоспалительной, анальгетической и противомикробной активностью производных антралиловой кислоты.

Представленные QSAR модели показывают высокую эффективность в прогнозировании различных физико-химических, биологических и лекарственных свойств.

Разработка новых QSAR моделей для предсказания антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола представляется весьма актуальной задачей.

Методы и материалы исследования

В данной работе исходным материалом для проведения научных исследований послужили экспериментальные данные по антибактериальной активности 28 производных 1,2,4-триазола, представленных в статье [22]. Методы исследования: QSAR моделирование, программирование, множественный регрессионный анализ.

В качестве факторов в моделях использовались шесть типов молекулярных дескрипторов [22]. Два из них *eeig11r* и *eeig12r* это Edge adjacency indices. Дескриптор *ish* это GETAWAY descriptor. Два дескриптора *mor18v* и *mor20e* это 3D-MoRSE descriptors. Фактор *belm2* является дескриптором класса Burden eigenvalues.

Результаты исследований и их обсуждение

В статье [22] представлены результаты исследований по предсказанию антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола с помощью линейных регрессионных моделей. Представлена многомерная линейная модель вида

$$\log X = -44,664 + 3,858eeig11r - 1,415mor20e + 23,672belm2 - \\ - 1,502eeig12r - 1,21mor18v - 2,834ish.$$

Статистические характеристики этой модели следующие: $R^2 = 0,9$; $F = 28,414$; $SE = 0,097$. Целевой показатель X определяет антибактериальную активность против *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia*.

На основе исходных данных статьи [22] и модели, представленной в этой работе, нами были рассчитаны прогнозные значения целевого показателя по выборке экспериментальных данных и получены следующие статистические характеристики: $MAE = 0,31$; $MAPE = 29,21$; $MSE = 0,446$; $RMSE = 0,667$. Точность прогноза равна $100 - MAPE = 70,79\%$. Коэффициент детерминации посчитать не удалось по данной модели, он оказался не входящим в интервал (0, 1). С помощью средств стандартного пакета MS Excel была рассчитана многомерная линейная регрессионная модель по экспериментальным данным, представленным в статье [22]. Данная модель оказалась другой по сравнению с представленной в работе [22] и имеет следующий вид

$$\log X = -32,9777 + 1,5499 \cdot eeig11r - 1,0848 \cdot mor20e + 18,4553belm2 - \\ - 2,1175 \cdot ish + 0,0664 \cdot eeig12r + 0,0624 \cdot mor18v.$$

Дальнейшие исследования связаны с получением наилучших QSAR моделей предсказания антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола.

Получены следующие QSAR модели по предсказанию антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола. В таблице 1 представлены модели и их статистические характеристики, зависящие от одного молекулярного дескриптора.

Таблица 1.

**Статистические характеристики моделей,
включающих один молекулярный дескриптор**

Модель	R^2	F	MAE	$MAPE$	MSE	$RMSE$	Точность прогноза в %
$\log X = 0,5776 \cdot eeig11r$	0,955	571,62	0,21	20,48	0,056	0,236	79,52
$\log X = 0,5628 \cdot mor20e$	0,913	284,52	0,278	26,43	0,107	0,327	73,57
$\log X = 0,569 \cdot belm2$	0,943	448,75	0,239	23,44	0,07	0,265	76,56
$\log X = 1,233 \cdot ish$	0,94	429,53	0,245	24,16	0,073	0,27	75,84
$\log X = 1,7258 \cdot \ln(eeig11r)$	0,958	651,03	0,193	18,61	0,052	0,228	81,39
$\log X = 1,6449 \cdot \ln(mor20e)$	0,877	191,8	0,32	29,98	0,152	0,39	70,02
$\log X = 1,6869 \cdot \ln(belm2)$	0,943	449,58	0,237	23,39	0,069	0,264	76,61
$\log X = -7,3873 \cdot \ln(ish)$	0,883	203,88	0,332	32,11	0,144	0,38	67,89

По статистическим характеристикам наилучшей моделью оказалось нелинейное уравнение вида $\log X = 1,7258 \cdot \ln(eeig11r)$ с точностью прогноза 81,39%, которая вычислялась по формуле 100- $MAPE$.

В таблице 2 представлены модели и их статистические характеристики, зависящие от двух молекулярных дескрипторов.

Таблица 2.

**Статистические характеристики моделей,
включающих два молекулярных дескриптора**

Модель	R^2	F	MAE	$MAPE$	MSE	$RMSE$
$\log X = 2,2272 \cdot \ln(belm2) - 0,5588 \cdot \ln(mor20e)$	0,95	235,7	0,229	22,73	0,064	0,254
$\log X = 2,72 \cdot \ln(eeig11r) - 1,01 \cdot \ln(mor20e)$	0,97	436,7	0,15	14,67	0,036	0,189
$\log X = 1,9504 \cdot \ln(eeig11r) - 0,2226 \cdot \ln(belm2)$	0,96	297,6	0,186	17,98	0,052	0,227
$\log X = 1,1887 \cdot eeig11r - 0,6132 \cdot mor20e$	0,97	422,1	0,156	15,2	0,037	0,192
$\log X = 1,8784 \cdot belm2 - 0,3133 \cdot mor20e$	0,95	234,9	0,229	22,78	0,065	0,254
$\log X = 1,0542 \cdot eeig11r - 0,4736 \cdot belm2$	0,96	295,8	0,189	18,15	0,052	0,228
$\log X = 0,8686 \cdot eeig11r - 0,6279 \cdot ish$	0,96	287,1	0,197	19,01	0,053	0,231

По статистическим характеристикам наилучшей моделью оказалось нелинейное уравнение вида $\log X = 2,72 \cdot \ln(eeig11r) - 1,01 \cdot \ln(mor20e)$ с точностью прогноза 85,33%, которая вычислялась по формуле 100- $MAPE$.

В таблице 3 представлены модели и их статистические характеристики, зависящие от более двух молекулярных дескрипторов.

Таблица 3.

**Статистические характеристики моделей,
включающих более двух молекулярных дескрипторов**

Модель	R^2	F	MAE	$MAPE$	MSE	$RMSE$
$\log X = 2,6081 \cdot \ln(eeig11r) - 1,0239 \cdot \ln(mor20e) + 0,1236 \cdot \ln(belm2)$	0,97	280,52	0,15	14,55	0,036	0,189
$\log X = 2,5613 \cdot \ln(eeig11r) - 1,3182 \cdot \ln(mor20e) + 0,0607 \cdot \ln(belm2) - 1,8443 \cdot \ln(ish)$	0,974	221,44	0,147	14,37	0,033	0,18
$\log X = -21,452 + 3,0036 \cdot \ln(eeig11r) - 1,9997 \cdot \ln(mor20e) + 33,7721 \cdot \ln(belm2) - 2,1272 \cdot \ln(ish)$	0,736	16,01	0,11	10,74	0,0186	0,1363
$\log X = -20,6294 - 3,0404 \cdot \ln(eeig11r) - 1,6358 \cdot \ln(mor20e) + 32,5515 \cdot \ln(belm2)$	0,678	16,87	0,119	11,78	0,023	0,15
$\log X = -29,8281 + 1,6214 \cdot eeig11r - 1,0943 \cdot mor20e + 16,8506 \cdot belm2 - 2,3192 \cdot ish$	0,724	15,1	0,115	11,1	0,0194	0,139
$\log X = 1,4035 \cdot eeig11r - 0,8228 \cdot mor20e + 1,2387 \cdot belm2 - 2,7034 \cdot ish$	0,975	235,46	0,141	13,81	0,031	0,175
$\log X = -32,9777 + 1,5499 \cdot eeig11r - 0,0848 \cdot mor20e + 18,4553 \cdot belm2 - 2,1175 \cdot ish + 0,0664 \cdot eeig12r + 0,0624 \cdot mor18v$	0,735	9,68	0,11	10,5	0,019	0,137
$\log X = 1,3993 \cdot eeig11r - 0,08824 \cdot mor20e + 1,2073 \cdot belm2 - 2,6605 \cdot ish + 0,0482 \cdot eeig12r + 0,081 \cdot mor18v$	0,976	148,51	0,134	13,28	0,029	0,172

По статистическим характеристикам наилучшая нелинейная модель по четырем факторам имеет следующий вид

$$\log X = -21,452 + 3,0036 \cdot \ln(eeig11r) - 1,9997 \cdot \ln(mor20e) + 33,7721 \cdot \ln(belm2) - 2,1272 \cdot \ln(ish)$$

с точностью прогноза 89,26%, которая вычислялась по формуле 100- $MAPE$.

С использованием шести факторов построена линейная модель с точностью прогноза 89,5% вида

$$\log X = -32,9777 + 1,5499 \cdot eeig11r - 0,0848 \cdot mor20e + 18,4553 \cdot belm2 - 2,1175 \cdot ish + 0,0664 \cdot eeig12r + 0,0624 \cdot mor18v$$

Данная модель по статистическим характеристикам мало отличается от предыдущей, но имеет большее количество факторов. Анализируя наилучшие модели, включающие один дескриптор, два дескриптора, более двух дескрипторов, можно заметить наличие в них дескриптора $eeig11r$. Поэтому данный дескриптор является наиболее важной переменной для прогнозирования антибактериальной активности производных 1,2,4-триазола с помощью QSAR моделей.

Заключение

Бактерии представляют собой серьезную угрозу для жизни многих организмов, включая и человеческое сообщество. В данной работе представлены QSAR модели прогнозирования антибактериальной активности, реализованные с помощью регрессионных зависимостей, факторы в которых выбирались из шести типов молекулярных дескрипторов. В наилучших моделях, построенных по одному, двум и более двух факторов, точность прогноза равнялась 81,39%, 85,33% и 89,26%. Выявлены дескрипторы из представленных шести типов, которые вносят наибольший вклад в антибактериальную активность производных 1,2,4-триазола. В результате проведенных изысканий предложены корреляционные уравнения для проведения дальнейших научных QSAR исследований, которые позволяют производить достоверный прогноз антибактериальной активности, выявляя соединения с высокой активностью до проведения их синтеза и биологических испытаний. Разработанные модели могут быть рекомендованы для практического применения в химико-биологических и медицинских исследованиях.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Осипов А.Л., Трушина В.П. Теория принятия решений в химико-биологических исследованиях // В мире научных открытий. 2015. №4-2 (64). С. 843-849.
2. Интеллектуальные технологии анализа химико-биологических данных / А.Л. Осипов, В.П. Трушина, Пятницев Д.В., Шляпкин Г.В., Павлик И.О. // В мире научных открытий. 2014. №12-2 (60). С. 749-757.
3. Осипов А.Л., Александров В.В. Методы статистической классификации химических веществ по степени токсичности // Автометрия. 2003. Т. 39, № 1. С. 114-125. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/2c5/2c5c8914db7135d1cd352c421ef87c8b.pdf>
4. Осипов А.Л. Метод моделирования адиабатической температуры горения химических веществ на основе дескрипторов графов структурных формул // Автометрия. 2004. Т. 40, № 1. С. 74-83. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/4/15/415d791111ccba0980dc85437fe760a3.pdf>

5. Осипов А.Л., Бобров Л.К. Прогнозирование свойств химических соединений на основе структурно-неаддитивных моделей с учетом парциальных вкладов структурных // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. 2013. № 9. С. 35-39.
6. Осипов А.Л., Трушина В.П., Чентаева Е.А. Предсказание радиопротекторных свойств методами распознавания образов // В мире научных открытий. 2014. №4 (52). С. 123-127.
7. Осипов А.Л., Семенов Р.Д. Модели прогнозирования токсикологических свойств химических веществ // Автметрия. 1995. № 6. С. 101-106.
8. Осипов А.Л., Трушина В.П. Взаимосвязь электронных параметров молекулы с канцерогенной активностью // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 3-2. С. 54-57.
9. Осипов А.Л., Трушина В.П., Осипов Ф.Л. QSPR моделирование теплоемкости альдегидов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12, № 1. С. 92-97. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-1-92-97>
10. Осипов А.Л., Трушина В.П. Прогнозирование липофильных свойств производных адамантана // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12. № 5. С. 11-15. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-11-15>
11. Андрюков К.В., Коркодинова Л.М. Константы липофильности в поиске биологически активных веществ с противовоспалительным действием в ряду производных N-арилзамещенных антралиловых кислот // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. С. 533-538. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33709>
12. Пшенкина Н.П., Софронов Г.А. Анализ и прогнозирование сорбции лекарственных веществ перфтораном на основе физико-химических свойств лигандов // Общая реаниматология. 2011. Том VII, № 3. С. 14-18. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2011-3-14>
13. Андрюков К.В., Коркодинова Л.М. Исследование связи “структура-противомикробная активность” с использованием молекулярного докинга в ряду замещенных амидов и гидразидов N-арил-5-бром (5-хлор) антралиловых кислот // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Медицина. Фармация. 2018. Т. 41, № 3. С. 495-501. <https://doi.org/10.18413/2075-4728-2018-41-3-495-501>
14. Андрюков К.В., Коркодинова Л.М. Математическое моделирование с использованием регрессионных моделей в молекулярном дизайне соединений с противовоспалительной, анальгетической и противомикробной активностью производных антралиловой кислоты // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 9. С. 31-35. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37661>

15. Андрюков К.В., Коркодинова Л.М. Поиск соединений с анальгетической активностью с использованием молекулярного докинга в исследованиях «структура-активность» по ферментам циклооксигеназа 1 и 2 в ряду Т-замещенных антралиловых кислот // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. № 12. С. 60-64. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12954>
16. Osipov A.L., Bobrov L.K. The use of statistical models of recognition in the virtual screening of chemical compounds // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2012. Т. 46, № 4. P. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0005105512040024>
17. Tarko L. A Selection Method for Molecular Descriptors and QSPR Equations // MATCH Commun. Math. Comput. Chem. 2017. Vol. 77. P. 245-272. https://match.pmf.kg.ac.rs/electronic_versions/Match77/n2/match77n2_245-272.pdf
18. Mohammadinasab E. Determination of Critical Properties of Alkanes Derivatives using Multiple Linear Regression // Iranian Journal of Mathematical Chemistry. 2017. Vol. 8. № 2. P. 199-220. https://ijmc.kashanu.ac.ir/article_44911_fb51b07421247e66c784b0b7270c8254.pdf
19. Havare O. QSPR Analysis with Curvilinear Regression Modeling and Topological Indices // Iranian Journal of Mathematical Chemistry. 2019. Vol. 10. № 4. P. 331-341. <https://doi.org/10.22052/IJMC.2019.191865.1448>
20. Shafifi F. Relationship between Topological Indices and Thermodynamic Properties and of the Monocarboxylic Acids Applications in QSPR // Iranian Journal of Mathematical Chemistry. 2015. Vol. 6. No 1. P. 15-28. <https://dx.doi.org/10.22052/ijmc.2015.8944>
21. Forush M., Shafifi F., Dialamehpour F. QSPR Study on Benzene Derivatives to some Physico-Chemical Properties by using Topological Indices // Iranian Journal of Mathematical Chemistry. 2016. Vol. 7. No 1. P. 93-110. <https://dx.doi.org/10.22052/ijmc.2016.12410>
22. Rostami Z., Manesh A., Samie L. QSPR Modeling of Antimicrobial Activity with Some Novel 1,2,4-Triazole Derivatives, Comparison with Experimental Study // Iranian Journal of Mathematical Chemistry. 2013. Vol. 4. No 1. P. 91-109. <https://dx.doi.org/10.22052/ijmc.2013.5284>

References

1. Osipov A.L., Trushina V.P. Teoriya prinyatiya resheniy v khimiko-biologicheskikh issledovaniyakh [Decision making theory in chemical and biological research]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2015, no. 4-2 (64), pp. 843-849.

2. Osipov A.L., Trushina V.P., Pyatnitsev D.V., Shlyapkin G.V., Pavlik I.O. Intellektual'nye tekhnologii analiza khimiko-biologicheskikh dannyykh [Intelligent technologies for the analysis of chemical and biological data]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2014, no. 12-2 (60), pp. 749-757.
3. Osipov A.L., Aleksandrov V.V. *Avtometriya*, 2003, vol. 39, no. 1, pp. 114-125. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/2c5/2c5c8914db7135d1cd352c421ef-87c8b.pdf>
4. Osipov A.L. *Avtometriya*, 2004, vol. 40, no. 1, pp. 74-83. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/415/415d791111ccba0980dc85437fe760a3.pdf>
5. Osipov A.L., Bobrov L.K. Prognozirovaniye svoystv khimicheskikh soedineniy na osnove strukturno-neadditivnykh modeley s uchetom partial'nykh vkladov strukturnykh [Prediction of the properties of chemical compounds on the basis of structurally non-additive models taking into account the partial contributions of structural ones]. *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2. Informatzionnye protsessy i sistemy*, 2013, no. 9, pp. 35-39.
6. Osipov A.L., Trushina V.P., Chentaeva E.A. Predskazaniye radioprotekturnykh svoystv metodami raspoznavaniya obrazov [Prediction of radioprotective properties by pattern recognition methods]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2014, no. 4 (52), pp. 123-127.
7. Osipov A.L., Semenov R.D. Modeli prognozirovaniya toksikologicheskikh svoystv khimicheskikh veshchestv [Models for predicting the toxicological properties of chemicals]. *Avtometriya*, 1995, no. 6, pp. 101-106.
8. Osipov A.L., Trushina V.P. Vzaimosvyaz' elektronnykh parametrov molekuly s kantserogennoy aktivnost'yu [Interrelation of electronic parameters of a molecule with carcinogenic activity]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2019, vol. 11, no. 3-2, pp. 54-57.
9. Osipov A.L., Trushina V.P., Osipov F.L. QSPR modelirovaniye teploemkosti al'degidov [QSPR modeling of heat capacity of aldehydes]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 92-97. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-1-92-97>
10. Osipov A.L., Trushina V.P. Prognozirovaniye lipofil'nykh svoystv proizvodnykh adamantana [Prediction of lipophilic properties of adamantane derivatives]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 11-15. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-11-15>
11. Andryukov K.V., Korkodinova L.M. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. 3, pp. 533-538. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33709>
12. Pshenkina N.P., Sofronov G.A. *Obshchaya reanimatologiya*, 2011, vol. VII, no. 3, pp. 14-18. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2011-3-14>

13. Andryukov K.V., Korkodinova L.M. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Meditsina. Farmatsiya*, 2018, vol. 41, no. 3, pp. 495-501. <https://doi.org/10.18413/2075-4728-2018-41-3-495-501>
14. Andryukov K.V., Korkodinova L.M. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2019, no. 9, pp. 31-35. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37661>
15. Andryukov K.V., Korkodinova L.M. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2019, no. 12, pp. 60-64. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12954>
16. Osipov A.L., Bobrov L.K. The use of statistical models of recognition in the virtual screening of chemical compounds. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2012, vol. 46, no. 4, pp. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0005105512040024>
17. Tarko L. A Selection Method for Molecular Descriptors and QSPR Equations. *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.*, 2017, vol. 77, pp. 245-272. https://match.pmf.kg.ac.rs/electronic_versions/Match77/n2/match77n2_245-272.pdf
18. Mohammadinasab E. Determination of Critical Properties of Alkanes Derivatives using Multiple Linear Regression. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry*, 2017, vol. 8, pp. 2, pp. 199-220. https://ijmc.kashanu.ac.ir/article_44911_fb51b07421247e66c784b0b7270c8254.pdf
19. Havare O. QSPR Analysis with Curvilinear Regression Modeling and Topological Indices. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 331-341. <https://doi.org/10.22052/IJMC.2019.191865.1448>
20. Shafifi F. Relationship between Topological Indices and Thermodynamic Properties and of the Monocarboxylic Acids Applications in QSPR. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry*, 2015, vol. 6, no. 1, pp. 15-28. <https://dx.doi.org/10.22052/ijmc.2015.8944>
21. Forush M., Shafifi F., Dialamehpour F. QSPR Study on Benzene Derivatives to some Physico-Chemical Properties by using Topological Indices. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry*, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 93-110. <https://dx.doi.org/10.22052/ijmc.2016.12410>
22. Rostami Z., Manesh A., Samie L. QSPR Modeling of Antimicrobial Activity with Some Novel 1,2,4-Triazole Derivatives, Comparison with Experimental Study. *Iranian Journal of Mathematical Chemistry*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 91-109. <https://dx.doi.org/10.22052/ijmc.2013.5284>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Осипов Александр Леонидович, доцент, кандидат технических наук
*ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики
и управления*

*ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
alosip@mail.ru*

Трушина Вероника Павловна, старший преподаватель

*ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики
и управления*

*ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
veronika07-92@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander L. Osipov, Associate Professor, Candidate of Engineering Science

*Novosibirsk State University of Economics and Management
56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation
alosip@mail.ru*

ORCID: 0000-0002-1809-9147

SPIN-code: 5697-8004

Scopus Author ID: 7202978114

Veronika P. Trushina, Senior Lecturer

*Novosibirsk State University of Economics and Management
56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation
veronika07-92@mail.ru*

ORCID: 0000-0003-1496-9069

SPIN-code: 6552-9660

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-288-304

УДК 616.72-002.77

КСАНТИНОКСИДОРЕДУКТАЗА: АКТИВНОСТЬ В КРОВИ ПРИ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕ

*Е.Э. Мозговая, С.А. Бедина, М.А. Мамус,
А.С. Трофименко, С.С. Спицина*

В патогенезе ревматоидного артрита (РА) наряду с иммунными нарушениями важное значение имеют изменения на метаболическом уровне.

Цель. Получение представлений об изменениях активности КОР в плазме крови и лизатах эритроцитов при РА.

Материалы и методы. В исследование включены 77 больных РА и 35 практически здоровых лиц.

Исследование проводилось с соблюдением этических принципов согласно Хельсинкской Декларации Всемирной Медицинской Ассоциации.

Диагноз РА верифицирован в соответствии с критериями ACR/EULAR (2010 г.). Эритроциты выделяли из периферической крови в градиенте плотности. Их лизаты получали при трехкратном замораживании-оттаивании и центрифугировании. Активность оксидазной (КО) и дегидрогеназной (КДГ) форм ксантиноксидоредуктазы (КОР) определяли спектрофотометрически.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программы STATISTICA 6.

Результаты. В плазме крови и лизатах эритроцитов больных РА выявлены изменения активности обеих форм КОР, зависящие от клинических проявлений. Для увеличения активности патологического процесса характерно прогрессирование снижения активности КДГ на фоне повышения активности КО в обеих средах. У больных с системными проявлениями заболевания в плазме крови выше активность обеих форм энзима, в лизатах эритроцитов – ниже активность КДГ и выше активность КО. Наиболее высокие значения активности оксидазной формы КОР соответствовали II и III рентгенологическим стадиям. Более высокий функциональный класс характеризовался более высокой активностью КО в плазме и эритроцитах и более низкой активностью КДГ в эритроцитах.

Заключение. При РА активность КОР реализуется в увеличении продукции активных форм кислорода и азота. Усиление процессов свободноради-

кальнего окисления поддерживает хроническое воспаление и деструкцию в суставах, других органах и системах.

Ключевые слова: ревматоидный артрит; плазма крови; эритроциты; ксантиноксидоредуктаза; ксантиноксидаза; ксантиндегидрогеназа

Для цитирования. Мозговая Е.Э., Бедина С.А., Мамус М.А., Трофименко А.С., Спицина С.С. Ксантиноксидоредуктаза: активность в крови при ревматоидном артрите // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 288-304. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-288-304

XANTHINE OXIDOREDUCTASE: ACTIVITY OF BLOOD IN RHEUMATOID ARTHRITIS

*E.E. Mozgovaya, S.A. Bedina, A.S. Trofimenko,
M.A. Mamus, S.S. Spitsina*

Metabolic shifts are essential for pathogenesis of rheumatoid arthritis (RA) along with changes in immunity.

Objective. *Overviewing of xanthine oxidoreductase (XOR) activity pattern in plasma and lyzed red blood cells of RA patients.*

Methods. *77 RA patients as well as 35 normal control persons were included in the study. Ethical principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki were fully compliant during the research. We verified RA diagnosis using ACR/EULAR criteria (2010). Erythrocytes were separated from whole blood by means of density gradients and lyzed by triple freezing and thawing cycles followed by centrifugation. Xanthine oxidase (XO) and xanthine dehydrogenase (XDH) activities of XOR were quantitated by spectrophotometry. Statistic calculations were performed with STATISTICA 6 software.*

Results. *Both plasma and lyzed red blood cells had changes in XO as well as XDH activities related to clinical manifestations of RA. Gradual decrease of XDH activity along with disease flares were revealed in both investigated compartments. Extraarticular involvement was associated with increase of both enzymatic activities in plasma, increase of erythrocyte XO, and decrease of erythrocyte XDH. Highest oxidase activities were observed in X-ray stages II and III. High global functional classes of RA were characterized by high XO activities in plasma and RBCs as well as low XDH activities in RBCs.*

Conclusion. *Increased production of reactive oxygen and nitrogen species is considered to be a major pathogenetic implication of XOR activity. Enhancement of free radical oxidation supports chronic inflammation and destruction in joints, as well as in other organs and systems.*

Keywords: *rheumatoid arthritis; plasma; red blood cells; xanthine oxidoreductase; xanthine oxidase; xanthine dehydrogenase*

For citation. *Mozgovaya E.E., Bedina S.A., Trofimenko A.S., Mamus M.A., Spitsina S.S. Xanthine oxidoreductase: activity of blood in rheumatoid arthritis. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 288-304. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-288-304*

Введение

Ревматоидный артрит (РА) – хроническое системное иммуновоспалительное заболевание, представленное во всех этнических популяциях и во всех возрастных группах [5]. Распространенность его в разных странах мира варьирует от 0,3 до 1,2% [3]. При этом общество несет значительные экономические потери, связанные с высокой частотой госпитализаций данной категории пациентов, утратой ими трудоспособности, их инвалидизацией и досрочным выходом на пенсию, необходимостью длительного и дорогостоящего лечения [4]. Помимо поражения суставов болезнь характеризуется широким спектром внесуставных клинических проявлений, определяющих существенное сокращение продолжительности жизни пациентов [2].

Основную роль в патогенезе РА играют глубокие нарушения в системе врожденного и приобретенного иммунитета [1,19]. В то же время важное значение имеет развитие окислительного стресса, при котором в результате дисбаланса между образованием свободных радикалов и способностью организма к их нейтрализации происходит повреждение клеточных мембран, липидов, нуклеиновых кислот, белков, компонентов внеклеточного матрикса [17,18,20]. Одним из продуцентов активных форм кислорода (АФК) и активных форм азота (АФА) является ксантиноксидоредуктаза (КОР) [14]. Провоспалительные цитокины, в том числе фактор некроза опухоли α , интерлейкин-1, интерлейкин-6, играющие при РА ключевую роль, регулируют активность КОР на транскрипционном и посттрансляционном уровнях, способствуя повышению ее экспрессии и трансформации гидрогеназной формы в оксидазную [7,12].

Цель исследования: получение представлений об изменениях активности КОР в плазме крови и лизатах эритроцитов при РА.

Материалы и методы. Исследование проводилось в соответствии с этическими принципами, изложенными в Хельсинской Декларации Всемирной Медицинской Ассоциации. Протокол исследования был одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБНУ «НИИ КиЭР им. А.Б. Збо-

ровского». В исследование включены 77 больных ревматологического отделения ГУЗ «ГКБСМП № 25» г. Волгограда с верифицированным, в соответствии с критериями ACR/EULAR (2010 г.), диагнозом РА [11]. Клиническая характеристика группы представлена в таблице 1. Контрольная группа, сравнимая по полу и возрасту с основной, была представлена 35 практически здоровыми людьми (средний возраст 39 (34; 46) лет).

Таблица 1.

Клиническая характеристика больных РА

Показатели		Больные РА (n=77)
Пол, n (%):	мужской	20 (26)
	женский	57 (74)
Средний возраст (лет), Me (Q_{25} ; Q_{75})		45 (37; 49)
Длительность болезни (лет), Me (Q_{25} ; Q_{75})		8 (6; 10)
Серопозитивность по РФ, n (%)		59 (76,6)
Серопозитивность по АЦЦП, n (%)		69 (89,6)
Наличие системных проявлений, n (%)		32 (41,6)
Наличие анемии, n (%)		24 (31,2)
Активность по DAS 28, n (%):	I	16 (20,8)
	II	49 (63,6)
	III	12 (15,6)
Рентгенологическая стадия (по Штейнбрökerу), n (%):	I	7 (9,1)
	II	39 (50,6)
	III	24 (31,2)
	IV	7 (9,1)
Функциональный класс, n (%)	II	30 (39,0)
	III	40 (51,9)
	IV	7 (9,1)

Примечание: DAS 28 – disease activity score, АЦЦП – антитела к циклическому цитруллинированному пептиду

Эритроциты выделяли из периферической крови по методике А. Вöуш [6] в градиенте плотности 1,077-1,079 г/мл, созданном с использованием препарата Lymphosep (MP Biomedicals LLC). Лизаты эритроцитов получали при трехкратном замораживании-оттаивании с последующим центрифугированием. Активность дегидрогеназной (ксантиндегидрогеназа (КДГ); ЕС 1.17.1.4) и оксидазной (ксантинооксидаза (КО); ЕС 1.17.3.2) форм КОР определяли в плазме крови и лизатах эритроцитов спектрофотометрически по ранее описанным методикам и выражали в нмоль/мин/

мл [10]. Активность энзимов в лизатах нормировали из расчета на содержание эритроцитов до лизиса 1×10^9 клеток/мл.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программы STATISTICA 6. Результаты выражали в виде медианы и интерквартильного размаха (Me (Q25; Q75)). Значимость различий количественных данных оценивали с помощью критерия Манна-Уитни. Для описания взаимосвязи признаков применяли коэффициент корреляции Спирмена (ρ). Различия рассматривались как статистически достоверные при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В лизатах эритроцитов и плазме крови практически здоровых людей нами не было выявлено зависимости активности включенных в исследование энзимов от пола и возраста, в связи с чем данные показатели не учитывались при анализе результатов, полученных в группе больных РА. Референтные пределы активности КО и КДГ представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Референтные интервалы активности энзимов в крови здоровых людей (95-процентильный интервал)

Энзим	Плазма	Лизаты эритроцитов
КО	2,29 — 4,31	20,62 — 25,46
КДГ	4,52 — 5,97	41,89 — 55,04

У больных РА (всей группы), по сравнению со здоровыми лицами, более высокая активность КО наблюдалась как в плазме крови, так и в лизатах эритроцитов, что сопровождалось снижением активности КДГ, хотя достоверным оно было только в эритроцитах (таблица 3).

Таблица 3.

Активность энзимов в зависимости от клинических проявлений РА

КО	Плазма		Лизаты эритроцитов	
	КДГ	КО	КДГ	
Здоровые, n=35	3,28 (3,05; 3,38) ^{1,5,9,13}	5,30 (4,83; 5,41) ^{2,6,10,14}	23,51 (22,35; 24,57) ^{3,7,11,15}	50,13 (47,52; 52,11) ^{4,8,12,16}
РА (вся группа), n=77	5,50 (4,91; 6,10) ¹	4,88 (4,43; 5,31) ²	29,20 (25,43; 32,66) ³	32,47 (26,66; 39,21) ⁴
	$p^1 < 0,001$	$p^2 = 0,059$	$p^3 < 0,001$	$p^4 < 0,001$

Окончание табл. 3.

Актив- ность по DAS 28	I, n=16	4,50 (3,83; 4,99) ⁵	5,58 (5,17; 5,96) ⁶	23,50 (22,74; 24,55) ⁷	44,96 (40,79; 50,65) ⁸
	II, n=49	5,77 (5,46; 6,12) ⁹	4,92 (4,54; 5,41) ¹⁰	30,35 (27,73; 32,52) ¹¹	30,49 (27,66; 33,31) ¹²
	III, n=12	7,07 (6,85; 7,11) ¹³	4,74 (4,46; 4,89) ¹⁴	37,09 (36,36; 37,71) ¹⁵	18,81 (18,21; 19,11) ¹⁶
		$p^5 < 0,001$ $p^9 < 0,001$ $p^{13} < 0,001$	$p^6 = 0,021$ $p^{10} = 0,035$ $p^{14} < 0,001$	$p^7 = 0,833$ $p^{11} < 0,001$ $p^{15} < 0,001$	$p^8 = 0,024$ $p^{12} < 0,001$ $p^{16} < 0,001$
Наличие системных проявлений, n=32	6,13 (5,81; 6,58) ¹⁷	5,60 (5,28; 6,10) ¹⁸	31,18 (28,49; 34,51) ¹⁹	29,25 (26,29; 36,98) ²⁰	
Без системных про- явлений, n=45	5,38 (4,74; 5,91) ¹⁷	4,60 (4,28; 4,81) ¹⁸	29,02 (25,35; 31,38) ¹⁹	38,75 (30,95; 44,14) ²⁰	
		$p^{17} < 0,001$	$p^{18} = 0,021$	$p^{19} < 0,001$	$p^{20} = 0,002$
Рентге- нологиче- ская стадия	I, n=7	4,93 (3,90; 5,57) ^{21,25}	4,24 (3,88; 4,76) ^{22,26}	27,78 (23,75; 29,09) ^{23,27}	46,70 (22,27; 70,53) ^{24,28}
	II, n=39	5,47 (4,92; 6,14) ^{21,29}	5,12 (4,48; 5,34) ^{22,30}	29,13 (57,61; 32,40) ^{23,31}	34,67 (26,33; 42,21) ^{24,32}
	III, n=24	5,91 (5,45; 6,21) ^{25,29}	4,67 (4,37; 4,86) ^{26,30}	31,40 (29,21; 32,96) ^{27,31}	26,51 (23,57; 31,57) ^{28,32}
	IV, n=7	5,35 (4,93; 5,69)	5,25 (4,66; 5,82)	29,55 (27,39; 34,28)	29,38 (22,03; 41,18)
		$p^{21} = 0,043$ $p^{25} = 0,012$ $p^{29} = 0,078$	$p^{22} = 0,025$ $p^{26} = 0,139$ $p^{30} = 0,083$	$p^{23} = 0,039$ $p^{27} = 0,002$ $p^{31} = 0,042$	$p^{24} = 0,204$ $p^{28} = 0,048$ $p^{32} = 0,003$
Функци- ональный класс	II, n=30	5,17 (4,78; 5,52)	4,67 (4,21; 5,23)	26,46 (24,76; 28,53)	40,68 (34,84; 48,45)
	III, n=40	6,14 (5,73; 6,50)	5,02 (4,65; 5,54)	30,34 (28,56; 33,78)	27,76 (20,88; 29,23)
	IV, n=7	6,46 (6,03; 7,75)	5,00 (4,62; 5,21)	42,97 (42,06; 45,48)	23,07 (20,79; 27,60)

Исходя из того, что, являясь системным заболеванием, РА характеризуется клиническим многообразием, изменения активности энзимов системы КОР были проанализированы в зависимости от его клинических особенностей. Были выявлены корреляции между обеими формами фермента как в плазме крови, так и лизатах эритроцитов с активностью РА, наличием внесуставных проявлений, функциональным классом испытуемых (таблица 4).

При I степени активности РА в плазме больных, в сравнении с контрольной группой, выявлено одновременное повышение активности КО и КДГ (таблица 3). Между активностями оксидазной и дегидрогеназной

форм КОР выявлена прямая взаимосвязь ($\rho=0,48$, $p=0,023$). При этом энзимные показатели превышали верхние границы нормальных значений: активность КО в 53,3% случаев, активность КДГ – в 33,3%. В лизатах эритроцитов больных данной подгруппы активность КО не отличалась от показателей здоровых лиц, в то время как в эритроцитах начиналось снижение активности КДГ (таблица 3). Показатели активности КДГ в 26,7% случаев были ниже, а в 20% выше границ нормы, в то время как активность КО за них не выходила.

Таблица 4.

Взаимосвязь между активностью энзимов и клиническими особенностями РА

	Плазма		Лизаты эритроцитов	
	КО	КДГ	КО	КДГ
Активность по DAS 28	0,83 $p<0,001$	-0,43 $p<0,001$	0,81 $p<0,001$	-0,80 $p<0,001$
Наличие системных проявлений	-0,49 $p<0,001$	-0,79 $p<0,001$	-0,26 $p=0,020$	0,36 $p=0,001$
Рентгенологическая стадия	0,09 $p=0,449$	0,09 $p=0,456$	0,21 $p=0,068$	-0,33 $p=0,003$
Функциональный класс	0,66 $p<0,001$	0,21 $p=0,070$	0,69 $p<0,001$	-0,64 $p<0,001$

В плазме больных РА со II степенью активности процесса, по сравнению со здоровыми, выявлено значительное повышение активности КО и снижение активности КДГ (таблица 3). Активность КО в 100% случаев превышала верхнюю границу нормы, активность КДГ в 24,5% случаев была ниже и в 6,1% случаев выше уровня здоровых людей. При этом, в отличие от контроля, в лизатах эритроцитов определялась более высокая активность КО и более низкая активность КДГ (таблица 3). Активности обоих ферментов в большинстве случаев отклонялись от границ нормы: активность КО в 81,6% случаев, а активность КДГ у всех больных. В лизатах эритроцитов выявлена достоверная обратная взаимосвязь между активностями КО и КДГ ($\rho=-0,59$, $p=0,003$).

Для III степени активности РА были характерны повышенная активность КО и сниженная активность КДГ в плазме крови (таблица 3). Превышение уровня нормальных значений активности КО отмечалось у 100% больных, активность КДГ была снижена у 45,5% пациентов и ни у одного больного не была повышенной. В лизатах эритроцитов, по сравнению с контролем, наблюдалось повышение активности КО и снижение актив-

ности КДГ. У всех больных активность КО превышала верхний уровень нормы, а активность КДГ в 100% случаев была ниже уровня здоровых лиц. Обратные взаимосвязи между обеими формами КОР выявлены как в плазме, так и в лизатах эритроцитов ($\rho=-0,33$, $p=0,004$ и $\rho=-0,79$, $p=0,020$).

Обращает на себя внимание, что увеличение активности патологического процесса характеризовалось прогрессирующим снижением активности КДГ на фоне повышения активности КО в обеих средах (таблицы 3, 4).

Корреляционные связи между активностью одноименных энзимов в плазме и лизатах эритроцитов, имевшие достоверность при II и III степени активности РА, носили прямой характер: повышение активности КО в эритроцитах сопровождалось повышением активности энзима в плазме, а снижение активности КДГ в эритроцитах происходило на фоне снижения ее плазменной активности (таблица 5).

Таблица 5.

Корреляции между активностями одноименных энзимов в плазме и лизатах эритроцитов больных в зависимости от степени активности РА

Активность по DAS 28	КДГ	КО
I	- 0,12 ($p=0,226$)	0,14 ($p=0,429$)
II	0,39 ($p=0,015$)	0,69 ($p=0,011$)
III	0,35 ($p=0,025$)	0,81 ($p=0,034$)

Внесуставные проявления имеют важное значение в клинической картине РА, часто ассоциируются с более тяжелым течением и быстрым прогрессирующим эрозивно-деструктивным процессом [2]. В нашем исследовании группы больных с системными проявлениями РА и без них были сопоставимы по активности патологического процесса. При этом у больных, имеющих системные проявления заболевания, по сравнению с больными без таковых, в плазме крови была выше активность обеих форм КОР, в лизатах эритроцитов – ниже активность КДГ и выше активность КО (таблица 3). Поскольку плазма крови является интегральным показателем, отражающим происходящие в тканях организма метаболические сдвиги, выявленные нами изменения служат аргументом в пользу роста напряженности процессов в ферментном звене оксидантной системы на фоне присоединения к клинической картине болезни внесуставных поражений [9]. Наблюдавшийся в эритроцитах сдвиг ферментативной активности КОР в сторону оксидазной формы свидетельствует о нарастании продукции АФК, которые, оказывая повреждающее действие на мембраны и клеточное содержимое, могут способствовать укорочению жизни дан-

ных форменных элементов. По данным литературы, АФК, генерируемые КОР (в большей степени в форме оксидазы), также принимают участие в мобилизации железа из ферритина в печени и абсорбции железа в слизистой оболочке кишечника [13]. Можно предположить, что повышение активности КОР служит одним из факторов, оказывающих влияние на количественный и качественный состав эритроцитов при РА.

Рентгенологические стадии при РА являются отражением выраженности деструктивных процессов в структурах суставов. В их основе лежит прогрессирующее хроническое воспаление, которое развивается в синовиальной оболочке и сопровождается разрушением хрящевой и костной ткани с образованием эрозий. Период наиболее активного формирования эрозий суставных поверхностей костей соответствует II и III рентгенологическим стадиям. В отличие от них, IV стадия, при которой также выявляются множественные эрозии, характеризуется преобладанием склеротических процессов с образованием фиброзно-костных анкилозов. В нашем исследовании достоверная взаимосвязь со стадией поражения суставов была выявлена только для активности КДГ лизатов эритроцитов (таблица 4). Тем не менее, при детальном анализе полученных данных прослеживались некоторые тенденции (таблица 3). Так, в плазме крови больных с I рентгенологической стадией поражения суставов, по сравнению со II стадией, оказались ниже активность КО, КДГ, по сравнению с III стадией, – ниже активность КО. В лизатах эритроцитов при I стадии, также как и при II стадии, по сравнению с III стадией, была ниже активность КО и выше активность КДГ. Согласно полученным данным, наиболее высокие значения активности оксидазной формы КОР соответствовали II и III рентгенологическим стадиям. Таким образом, генерируемые энзимом АФК, по-видимому, могут принимать участие в резорбтивных процессах и поддержании воспаления в суставах при РА.

Функциональный класс при РА отражает сохранность способности пациентов к осуществлению профессиональной, непрофессиональной деятельности, самообслуживанию и в целом характеризует определенный уровень качества жизни. Очевидно, что он ассоциирован с тяжестью клинической картины, которая определяется активностью патологического процесса, наличием внесуставных проявлений, выраженностью костно-резорбтивных процессов. Это нашло отражение и при анализе зависимости активности энзимов от функционального класса испытуемых. Было выявлено, что более высокий функциональный класс характеризовался более высокой активностью КО в плазме крови и эритроцитах, более низкой активностью КДГ в эритроцитах (таблицы 3,4).

Заключение

Согласно современным представлениям, РА не входит в группу болезней, в патогенезе которых ведущую роль играет окислительный стресс [8]. В то же время в литературе представлены данные об его участии в развитии и прогрессировании данного заболевания [15, 18, 21]. Полученные нами результаты согласуются с ними и свидетельствуют об изменениях в ферментной системе КОР, проявляющихся в сопряженном с тяжестью клинических проявлений РА ростом активности оксидазной формы фермента, ответственной за гиперпродукцию АФК. Наряду с этим, следует отметить, что определенный вклад в образование АФК в условиях окислительного стресса может вносить и КДГ, которая также способна восстанавливать кислород, но менее эффективно по сравнению с оксидазной формой. Помимо этого, в условиях низкого рН и гипоксии, развивающихся в тканях в условиях воспаления, обе формы КОР могут проявлять NADH-оксидазную и нитратредуктазную активности, в результате чего не только усиливается продукция АФК, но также образуются АФА [13,16]. Усиление под воздействием АФК и АФА процессов свободнорадикального окисления запускает метаболические каскады, которые ведут к повреждению клеток, их преждевременной гибели, способствуют эндотелиальной дисфункции, образованию внеклеточных ловушек нейтрофилов, поддерживающих хроническое воспаление и деструкцию в суставах, других органах и системах.

Список литературы

1. Активность ферментов прооксидантной и антиоксидантной систем в плазме крови больных ревматоидным артритом / Бедина С.А., Трофименко А.С., Мозговая Е.Э., Спицина С.С., Мамус М.А., Тихомирова Е.А. // Якутский медицинский журнал. 2020. № 2. С. 28-30. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2020.70.08>
2. Бестаев Д.В., Каратеев Д.Е., Насонов Е.Л. Системные проявления ревматоидного артрита // Научно-практическая ревматология. 2013. Т. 51, № 1. С. 76-80. <https://rsp.mediarpress.net/rsp/article/view/1116>
3. Галушко Е.А., Насонов Е.Л. Распространенность ревматических заболеваний в России // Альманах клинической медицины. 2018. Т. 46, № 1. С. 32–39. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39>
4. Зинчук И.Ю., Амирджанова В.Н. Социальное бремя ревматоидного артрита // Научно-практическая ревматология. 2014. № 3. С. 331–335. <https://doi.org/10.47360/1995-4484-2020-663-672>

5. Клиническая характеристика трех кагорт раннего ревматоидного артрита с поздним началом (в возрасте 50 лет и старше). Обобщение 40-летнего опыта / Сатыбалдыев А.М., Демидова Н.В., Гриднева Г.И., Никишина Н.Ю., Герасимова Е.В., Гукасян Д.А., Касумова К.А., Лучихина Е.Л., Мисиюк А.С., Оскилко Т.Г., Румянцева О.А., Злепко Е.А., Тюрина Л.Н., Федоренко Е.В., Шорникова Н.В., Насонов Е.Л. // Научно-практическая ревматология. 2020. Т. 58, № 2. С. 140-146. <https://rsp.mediar-press.net/rsp/article/view/2868>
6. Медицинские лабораторные технологии: Руководство по клинической лабораторной диагностике: В 2 т. [Под ред. А.И. Карпищенко]. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. Т. 2. 792 с.
7. Результаты исследования эффективности и безопасности немедицинского переключения с оригинального препарата ритуксимаб на биоаналог у пациентов с ревматоидным артритом (исследование АМБИРА) / Королев М.А., Убшаева Ю.Б., Банщикова Н.Е., Летягина Е.А., Муллагалиев А.А. // Научно-практическая ревматология. 2020. Т. 58, № 6. С. 663–672. <https://doi.org/10.47360/1995-4484-2020-663-672>
8. Рыбакова А.А., Платонова Н.М., Трошина Е.А. Оксидативный стресс и его роль в развитии аутоиммунных заболеваний щитовидной железы // Проблемы эндокринологии. 2019. Т. 65, № 6. С. 451-457. <https://doi.org/10.14341/probl11827>
9. Шейбак В.М., Павлюковец А.Ю., Смирнов В.Ю. Свободные аминокислоты плазмы крови как интегральный показатель метаболических нарушений при длительном поступлении в организм малых доз ацетата свинца // Проблемы здоровья и экологии. 2017. № 2. С. 67-71. <https://journal.gsmu.by/jour/article/view/1793>
10. Энзимодиагностика активности патологического процесса при ревматоидном артрите / Мозговая Е.Э., Мартемьянов В.Ф., Стажаров М.Ю., Бедина С.А. // Врач-аспирант. 2011. № 4. С. 45-50.
11. Aletaha D., Neogri T., Silman A.J. et al. 2010 Rheumatoid arthritis classification criteria: An American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative // Arthritis Rheumatology, 2010, vol. 62, no. 9, pp. 2569-2581. <https://doi.org/10.1002/art.27584>
12. Battelli M.G., Bolognesi A., Polito L. Pathophysiology of circulating xanthine oxidoreductase: New emerging roles for a multi-tasking enzyme // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease, 2014, vol. 1842, issue 9, pp. 1502-1517. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2014.05.022>
13. Battelli M.G., Bortolotti M., Polito L., Bolognesi A. Metabolic syndrome and cancer risk: The role of xanthine oxidoreductase // Redox Biology, 2019 Feb, vol. 21, 101070. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2018.101070>

14. Battelli M.G., Polito L., Bortolotti M., Bolognesi A. Xanthine Oxidoreductase-Derived Reactive Species: Physiological and Pathological Effects // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, vol. 2016, 3527579. <https://doi.org/10.1155/2016/3527579>
15. Çimen M.Y., Çimen Ö.B., Kaçmaz M., Öztürk H.S., Yorgancıoğlu R., Durak İ. Oxidant/antioxidant status of the erythrocytes from patients with rheumatoid arthritis // *Clinical Rheumatology*, 2000, vol. 19, no. 4, pp. 275-277. <https://doi.org/10.1007/s00296-010-1611-2>
16. Fearon, U., Canavan, M., Biniiecka, M. et al. Hypoxia, mitochondrial dysfunction and synovial invasiveness in rheumatoid arthritis // *Nature Reviews Rheumatology*, 2016, vol. 12, pp. 385–397. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2016.69>
17. da Fonseca L.J.S., Nunes-Souza V., Goulart M.O.F., Rabelo L.A. Oxidative Stress in Rheumatoid Arthritis: What the Future Might Hold regarding Novel Biomarkers and Add-On Therapies // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019 Dec, vol. 14, 7536805. <https://doi.org/10.1155/2019/7536805>
18. Mateen S., Moin S., Khan A.Q., Zafar A., Fatima N. Increased Reactive Oxygen Species Formation and Oxidative Stress in Rheumatoid Arthritis // *PLOS ONE*, 2016, vol. 11, no. 4, e0152925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152925>
19. McInnes I.B., Schett G. Pathogenetic insights from the treatment of rheumatoid arthritis // *Lancet*, 2017, vol. 389, issue 10086, pp. 2328–2337. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31472-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31472-1)
20. Smallwood M.J., Nissim A., Knight A.R., Whiteman M., Haigh R., Winyard P.G. Oxidative stress in autoimmune rheumatic diseases // *Free Radical Biology & Medicine*, 2018 Sep, vol. 125, pp. 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.086>
21. Staron A., Makosa G., Koter-Michalak M. Oxidative stress in erythrocytes from patients with rheumatoid arthritis // *Rheumatology International*, 2012, vol. 32, pp. 331-334. <https://doi.org/10.1007/s00296-010-1611-2>

Referenses

1. Bedina S.A., Trofimenko A.S., Mozgovaya E.E., Spitsina S.S., Mamus M.A., Tikhomirova E.A. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal*, 2020, no. 2, pp. 28-30. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2020.70.08>
2. Bestaev D.V., Karateev D.E., Nasonov E.L. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2013, vol. 51, no. 1, pp. 76-80. <https://rsp.mediar-press.net/rsp/article/view/1116>
3. Galushko E.A., Nasonov E.L. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny*, 2018, vol. 46, no. 1, pp. 32–39. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39>

4. Zinchuk I.Yu., Amirdzhanova V.N. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2014, no. 3, pp. 331–335. <https://doi.org/10.47360/1995-4484-2020-663-672>
5. Satybaldyev A.M., Demidova N.V., Gridneva G.I., Nikishina N.Yu., Gerasimova E.V., Gukasyan D.A., Kasumova K.A., Luchikhina E.L., Mi-siyuk A.S., Oskillo T.G., Rumyantseva O.A., Zlepko E.A., Tyurina L.N., Fedorenko E.V., Shornikova N.V., Nasonov E.L. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2020, vol. 58, no. 2, pp. 140-146. <https://rsp.mediar-press.net/rsp/article/view/2868>
6. Karpishchenko A.I. *Meditsinskie laboratornye tekhnologii: Rukovodstvo po klinicheskoy laboratornoy diagnostike* [Medical laboratory technology: Guidelines for clinical laboratory diagnosis]. M.: GEOTAR-Media, 2013, vol. 2, 792 p.
7. Korolev M.A., Ubshaeva Yu.B., Banshchikova N.E., Letyagina E.A., Mullagaliev A.A. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2020, vol. 58, no. 6, pp. 663–672. <https://doi.org/10.47360/1995-4484-2020-663-672>
8. Rybakova A.A., Platonova N.M., Troshina E.A. *Problemy endokrinologii*, 2019, vol. 65, no. 6, pp. 451-457. <https://doi.org/10.14341/probl11827>
9. Sheybak V.M., Pavlyukovets A.Yu., Smirnov V.Yu. *Problemy zdorov'ya i ekologii*, 2017, no. 2, pp. 67-71. <https://journal.gsmu.by/jour/article/view/1793>
10. Mozgovaya E.E., Martem'yanov V.F., Stazharov M.Yu., Bedina S.A. *Vrach-aspirant*, 2011, no. 4, pp. 45-50.
11. Aletaha D., Neogri T., Silman A.J. et al. 2010 Rheumatoid arthritis classification criteria: An American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative. *Arthritis Rheumatology*, 2010, vol. 62, no. 9, pp. 2569-2581. <https://doi.org/10.1002/art.27584>
12. Battelli M.G., Bolognesi A., Polito L. Pathophysiology of circulating xanthine oxidoreductase: New emerging roles for a multi-tasking enzyme. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 2014, vol. 1842, issue 9, pp. 1502-1517. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2014.05.022>
13. Battelli M.G., Bortolotti M., Polito L., Bolognesi A. Metabolic syndrome and cancer risk: The role of xanthine oxidoreductase. *Redox Biology*, 2019 Feb, vol. 21, 101070. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2018.101070>
14. Battelli M.G., Polito L., Bortolotti M., Bolognesi A. Xanthine Oxidoreductase-Derived Reactive Species: Physiological and Pathological Effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, vol. 2016, 3527579. <https://doi.org/10.1155/2016/3527579>
15. Çimen M.Y., Çimen Ö.B., Kaçmaz M., Öztürk H.S., Yorgancıoğlu R., Durak İ. Oxidant/antioxidant status of the erythrocytes from patients with rheumatoid arthritis. *Clinical Rheumatology*, 2000, vol. 19, no. 4, pp. 275-277. <https://doi.org/10.1007/s00296-010-1611-2>

16. Fearon, U., Canavan, M., Biniiecka, M. et al. Hypoxia, mitochondrial dysfunction and synovial invasiveness in rheumatoid arthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, 2016, vol. 12, pp. 385–397. <https://doi.org/10.1038/nr-rheum.2016.69>
17. da Fonseca L.J.S., Nunes-Souza V., Goulart M.O.F., Rabelo L.A. Oxidative Stress in Rheumatoid Arthritis: What the Future Might Hold regarding Novel Biomarkers and Add-On Therapies. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019 Dec, vol. 14, 7536805. <https://doi.org/10.1155/2019/7536805>
18. Mateen S., Moin S., Khan A.Q., Zafar A., Fatima N. Increased Reactive Oxygen Species Formation and Oxidative Stress in Rheumatoid Arthritis. *PLOS ONE*, 2016, vol. 11, no. 4, e0152925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152925>
19. McInnes I.B., Schett G. Pathogenetic insights from the treatment of rheumatoid arthritis. *Lancet*, 2017, vol. 389, issue 10086, pp. 2328–2337. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31472-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31472-1)
20. Smallwood M.J., Nissim A., Knight A.R., Whiteman M., Haigh R., Winyard P.G. Oxidative stress in autoimmune rheumatic diseases. *Free Radical Biology & Medicine*, 2018 Sep, vol. 125, pp. 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.086>
21. Staron A., Makosa G., Koter-Michalak M. Oxidative stress in erythrocytes from patients with rheumatoid arthritis. *Rheumatology International*, 2012, vol. 32, pp. 331-334. <https://doi.org/10.1007/s00296-010-1611-2>

ВКЛАД АВТОРОВ

Мозговая Е.Э.: общая концепция исследования, интерпретация данных, написание текста статьи.

Бедина С.А.: интерпретация данных, написание текста статьи.

Трофименко А.С.: планирование исследования, редактирование рукописи статьи, руководство.

Мамус М.А.: получение клинико-экспериментальных данных, статистическая обработка данных.

Спицина С.А.: получение клинико-экспериментальных данных, статистическая обработка данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena E. Mozgovaya: conceptualization, data interpretation, original draft preparation.

Svetlana A. Bedina: data interpretation, original draft preparation.

Maria A. Mamus: data acquisition and curation, formal analysis.

Andrew S. Trofimenko: conceptualization and methodology, pre-publication review & editing, supervision.

Svetlana S. Spitsina: data acquisition and curation, formal analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Мозговая Елена Эдуардовна, к.м.н., ведущий научный сотрудник клинико-биохимической лаборатории

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной ревматологии им. А.Б. Зборовского»*

*ул. им. Землячки, 76, г. Волгоград, 400138, Российская Федерация
nauka@pebma.ru*

Бедина Светлана Александровна, к.м.н., старший научный сотрудник клинико-биохимической лаборатории

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной ревматологии им. А.Б. Зборовского»*

*ул. им. Землячки, 76, г. Волгоград, 400138, Российская Федерация
clinicalbiochemistry@yandex.ru*

Мамус Мария Анатольевна, младший научный сотрудник клинико-биохимической лаборатории

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной ревматологии им. А.Б. Зборовского»*

*ул. им. Землячки, 76, г. Волгоград, 400138, Российская Федерация
m.matus@yandex.ru*

Трофименко Андрей Степанович, к.м.н., заведующий клинико-биохимической лабораторией

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной ревматологии им. А.Б. Зборовского»*

*ул. им. Землячки, 76, г. Волгоград, 400138, Российская Федерация
a.s.trofimenko@mail.ru*

Спицина Светлана Сергеевна, младший научный сотрудник клинико-биохимической лаборатории

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт клинической и эксперимен-
тальной ревматологии им. А.Б. Зборовского»
ул. им. Землячки, 76, г. Волгоград, 400138, Российская Федерация
svetlanahime@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena E. Mozgovaya, Cand.Med.Sci., Lead Researcher of the Laboratory of Clinical Biochemistry
*Research Institute of Clinical and Experimental Rheumatology named after A.B. Zborovsky
76, Zemlyachki Str., Volgograd, 400138, Russian Federation
nauka@pebma.ru
SPIN-code: 5809-3703
ORCID: 0000-0003-0373-5072
ResearcherID: L-1432-2017
Scopus Author ID: 6507858273*

Svetlana A. Bedina, Cand.Med.Sci., Senior Researcher of the Laboratory of Clinical Biochemistry
*Research Institute of Clinical and Experimental Rheumatology named after A.B. Zborovsky
76, Zemlyachki Str., Volgograd, 400138, Russian Federation
clinicalbiochemistry@yandex.ru
SPIN-code: 2228-6518
ORCID: 0000-0002-5316-0185
ResearcherID: J-6912-2018
Scopus Author ID: 36084177000*

Maria A. Mamus, Junior Researcher of the Laboratory of Clinical Biochemistry
*Research Institute of Clinical and Experimental Rheumatology named after A.B. Zborovsky
76, Zemlyachki Str., Volgograd, 400138, Russian Federation
m.mamus@yandex.ru
SPIN-code: 5119-9808
ORCID: 0000-0002-5488-1451
ResearcherID: AAK-1268-2021*

Andrew S. Trofimenko, Cand.Med.Sci., Managing Researcher of the Laboratory of Clinical Biochemistry

Research Institute of Clinical and Experimental Rheumatology named after A.B. Zborovsky

76, Zemlyachki Str., Volgograd, 400138, Russian Federation

a.s.trofimenko@mail.ru

SPIN-code: 4890-3630

ORCID: 0000-0002-1627-8483

ResearcherID: K-9126-2017

Svetlana S. Spitsina, Junior Researcher of the Laboratory of Clinical Biochemistry

Research Institute of Clinical and Experimental Rheumatology named after A.B. Zborovsky

76, Zemlyachki Str., Volgograd, 400138, Russian Federation

svetlanahime@yandex.ru

SPIN-code: 2072-1614

ORCID: 0000-0001-5127-611X

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-305-320

UDC 338.43.02

IMPROVEMENT OF INFORMATION QUALITY ON STATE ASSISTANCE IN ACCOUNTING AND REPORTING OF AGRICULTURAL COMPANIES

*V.B. Malitskaya, N.N. Volkova, A.A. Aksenova,
I.E. Konovalenko, D.N. Osyanin*

Agriculture is of great importance for the Russian economy and is one of its most stable and fast growing sectors. The farming experience in the European agro developed countries confirms the need for active state intervention explained by the special features of the sector. Our country allocates huge resources to support of agriculture. Russia's mechanisms of agricultural subsidies are improved on a constant basis meaning that the accounting and financial reporting systems as information tools of management should be adapted to the functional changes in modern agricultural companies, including improvement of subsidy mechanisms. Our research assesses accounting for state aid and formation of accounting reporting indicators taking agricultural firms of the Voronezh region as an example. It also develops the directions of further activities. The results will help improve the information basis for managerial decisions when distributing and analyzing effectiveness of state aid in the agrarian firms.

Keywords: *agrarian formations; accounting; reporting; state aid; state programme; subsidy mechanisms; agriculture; subsidies*

For citation. *Malitskaya V.B., Volkova N.N., Aksenova A.A., Konovalenko I.E., Osyanin D.N. Improvement of Information Quality on State Assistance in Accounting and Reporting of Agricultural Companies. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 305-320. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-305-320*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОМОЩИ В БУХГАЛТЕРСКОМ УЧЕТЕ И ОТЧЕТНОСТИ СУБЪЕКТОВ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

*В.Б. Малицкая, Н.Н. Волкова, А.А. Аксенова,
И.Е. Коноваленко, Д.Н. Осянин*

Сельское хозяйство играет огромную роль в экономике России и является одной из наиболее стабильно и быстрорастущих ее отраслей. Опыт ведения сельского хозяйства в аграрно развитых европейских странах подтверждает, что специфика данной отрасли обуславливает активное вмешательство государства в процесс ее функционирования. На поддержку сельского хозяйства нашей страны выделяются огромные ресурсы. Постоянно совершенствуются механизмы субсидирования отрасли сельского хозяйства в России. В этой связи система бухгалтерского учета и бухгалтерской отчетности, выступая в качестве информационного источника обеспечения управления, должна адаптироваться к происходящим изменениям во внешней среде функционирования современных сельскохозяйственных организаций, обусловленным, в том числе, совершенствованием механизма государственного субсидирования. В проведенном исследовании дана оценка бухгалтерского учета государственной помощи и формирования показателей бухгалтерской отчетности на примере сельскохозяйственных организаций Воронежской области и разработаны направления дальнейшего развития. Полученные результаты позволят усовершенствовать порядок формирования информационной базы для принятия управленческих решений при распределении и анализе эффективности государственной помощи в аграрных формированиях.

Ключевые слова: *аграрные формирования; бухгалтерский учет; бухгалтерская отчетность; государственная помощь; государственная программа; механизмы субсидирования; сельское хозяйство; субсидии*

Для цитирования. *Малицкая В.Б., Волкова Н.Н., Аксенова А.А., Коноваленко И.Е., Осянин Д.Н. Совершенствование формирования информации о государственной помощи в бухгалтерском учете и отчетности субъектов аграрной сферы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 305-320. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-305-320*

Introduction

State help to companies becomes an integral part of a market economy. Agriculture is a strategically important, priority instrument in ensuring food security

of a state and the need of state aid here is obvious. Long-term experience has demonstrated that it is the government that can regulate financial injections into agriculture taking into account possible development trends in the sector. The Voronezh region was second in 2019 by the volume of subsidies to the farmers in the Central Federal District (7,618.9 mln rbl). It implements regional state programme Development of Agriculture, Food Production and Infrastructure of the Agro-Food Market. The federal government allocated 256.2 bln rbl to the state agriculture programme in 2021, which is much lower than in 2020 (308.8 bln rbl). At the same time, the federal government plans a 279.7 bln rbl financing of the programme for 2022 and 295.5 bln rbl for 2023. The key source of information for the external users on the amount of state help received by the agricultural organizations is accounting (financial) reporting compiled from accounting records. Unfortunately, we have to state that the modern accounting and reporting systems do not fully meet the agriculture management goals (Beisland, 2013; Patten, 2015; Boyko et al., 2019). Reflecting state help in accounting and reporting in compliance with the Russian and international legislation; details of information about the types of state assistance in the accounting system (Milne, 2002); creation of industry-specific accounts in accordance with the state help mechanism; effectiveness of the use of support (Muller, 2015); a higher return on invested state funds are pressing issues and require further improvement.

Literature review

State aid is an integral part of government regulation and is a combination of different tools and instruments, preferential and free financing of the most economically disadvantaged industries. The state help notion has good interpretation both in the local and international practices. For instance, in Russian Accounting Standard 13/2000 “State Aid Accounting” the state assistance notion is defined as “an increase in economic benefits of an organization as a result of receipt of assets (cash, other property)”. Amendments to the statutory acts say that Russian Accounting Standard 13/2000 is about the subsidies provided from the budgets of the Russian Federation budget system and the budgets of the state extra-budgetary funds; at that, state support in the form of subventions is excluded. Internationally, the statutory document, which defines the state aid notion is International Accounting Standard (IAS) 20 “Accounting for Government Grants and Disclosure of Government Assistance” (Ahmed, 2013): We believe that IAS 20 provides a more accurate definition of state aid: “government actions aimed at providing economic benefits to a company or a group of

companies meeting necessary criteria”. For agriculture, IAS 41 “Agriculture” is applied internationally (Lehoux, 2019; Strizhenok and Ivanov, 2021).

IAS 41 differs from IAS 20 in prescribing the order of accounting in cases when a state grant is applied to a biological asset valued at fair value less the cost of sales, or when a state grant prohibits company involvement in a certain type agricultural business. We believe that IAS can boast more detailed theoretical aspects, while RAS is better from a practical point of view (the order of accounting). According to Adams (2008), Peter (2016) the terms “subsidies” and “compensations” can conceal different economic instruments -- revenue from the sale of goods, works, services accounted for under Russian Accounting Standard 9/99, as well as support covered by Russian Accounting Standard 13/2000 “Accounting for Government Assistance”. When a company cannot differentiate between these two types of budget funds and accounts for them all as revenue (income), it runs the risk of getting claims from the tax authorities for underestimating the tax base for VAT and the income tax, usually supported by courts (Caims, 2004; Akhmadeev, 2019; Rahman, 2018).

In the modern literature a number of problems are discussed with regard to the topic of the research. This concerns the volume of funding allocated to support the agro-industrial complex in 2021 in Russia in general and the Voronezh region in particular; reflection in accounting and financial statements of the received subsidies (Fomina, 2020; Kokorev, 2019); the impact of the coronavirus pandemic on the accounting of government subsidies (Sharonova, E.A., 2020); methodological aspects of assessing the effectiveness of government subsidies (Pechenkin, V.G., 2010; Dudukalov et al., 2020), etc.

Matter of research

Farmers receive active government assistance. The chief Voronezh region distributor of regional budget funds and the funds provided to the region from the central government for grants is the agrarian policy department of the Voronezh region. The breakdown of state assistance received by the Voronezh region’s farmers in 2018-2019 is presented in Table 1. We can see that the key directions of subsidies in the period were subsidies to attain the targets of the regional agriculture programmes (a so-called single subsidy), grants for floating support of plant growing, subsidies to raise productiveness of dairy cattle breeding and subsidies to compensate part of interest on investment credits to the farmers.

State assistance to the farmers involves passage of a number of consecutive stages, including an application with the attachment of documents confirming the right for a grant to the regional agriculture department (Susiarjo, 2006; Ma-

larev et al., 2020). We should note that the government of the Voronezh region develops and approves an order of getting a subsidy. The list of documents for application for a grant is part of the order. The forms of application are also approved. The rates of the subsidies are approved by the agriculture department of the Voronezh region. This means that a farmer only has to comply strictly with the regulations of the order and fill in the documents correctly (Table 2).

Table 1.

**The breakdown of state assistance received by the farmers
of the Voronezh region in 2018-2019**

Indicator	OJSC Rassvet of the Verkh-nemamonsky district				OJSC Agrofirma Tikhy Don of the Pavlovsk district			
	2018		2019		2018		2019	
	thou- sand rbl.	%	thou- sand rbl.	%	thou- sand rbl.	%	thou- sand rbl.	%
Budget funds, total, including	6423	100.0	10249	100.0	295	100.0	4137	100.0
Grants to attain the targets of the regional agriculture programmes	4114	64.05	4425	43.17	-	-	801	19.36
Grants for floating aid for plant breeding	632	9.84	4868	47.49	295	100.0	-	-
Grants to increase production in dairy cattle breeding	923	14.37	956	9.34	-	-	2976	71.94
Grants to compensate part of interest on investment credits to the farmers	754	11.74	-	-				
Other subsidies	-	-	-	-	-	-	360	8.70

Our analysis of the current accounting for the receipt and use of state assistance in some agricultural companies revealed the absence of the optimally structured system of information flows on targeted financing on account 86 “Targeted Financing”, which prevents its best analysis. Besides, we established that some of the economic subjects under analysis never use account 86 “Targeted Financing” and reflect state aid only on accounts 76 “Settlements with Different Debtors and Creditors” and 91 “Other Income and Expenditure” conflicting with the 2020 amendments to Russian Accounting Standard 13/2000 “Accounting for State Assistance”.

Table 2.

**Documenting the receipt of subsidies by agricultural producers
in the Voronezh region**

Subsidy	Regulatory document	The list of documents for application
1	2	3
Grants to attain the targets of the regional agriculture programmes (to support elite seed production)	Regulation of the Voronezh region government dated February 07, 2018 № 110 (ed. dated August 26,2020)	application; statement of the tax authority on settlement of taxes, penalties and fines; a copy of documents confirming the purchase and sowing of spring and winter crops; the certificates of seed conformity; information about the results of sowing; a financial report
Grants for floating aid for plant breeding	Regulation of the Voronezh region government dated March 18, 2016 № 164 (ed. dated June 30,2016)	application; statement of the tax authority on settlement of taxes, penalties and fines; information about harvesting; financial report; list of submitted documents
Grants to increase production in dairy cattle breeding	Regulation of the Voronezh region government dated December 28, 2019 № 1312	application; calculation of subsidy; information about cows or/and goats of the recipient of the grant; information about milk output, milk sold and/or sent to the applicant's own processing; documents confirming the sales of milk and/or its sending to the applicant's own processing facilities; information about dairy productivity of cows; financial report; force majeure documents
Grants to compensate part of interest on investment credits to the farmers	Regulation of the Voronezh region government dated October 19, 2018 №910(ed. dated September 03, 2020) (ed. dated September 03, 2020)	a) after opening a credit account to receive a loan under a credit line: copies of the credit agreement certified by the credit institution; copies of the payment order and an extract from the borrower's loan account on obtaining the loan; a repayment schedule and an interest payment schedule; a document indicating the number of the borrower's account opened in a credit institution to receive funds from the budget of a Russian Federation subject; б) after payment of interest: subsidy application; calculation of the volume of subsidy; copies of payment orders to pay interest certified by a credit organization; copies of documents confirming targeted use of the loan; financial report

The farmers present a balance sheet, a financial report and explanation to it, a cash flow statement present information about imputed and actually received subsidies in industry reporting form № 10-APK “Report on Targeted Financing”. The form consists of 7 parts for individual reflection of information on state assistance on some branches of plant and cattle breeding as well as on agricultural insurance (in the form of a compensating subsidy in plant breeding); short-term crediting in agriculture; support to small enterprises (grants); agricultural investment activities; federal targeted programmes; other state programmes and other subsidies (Bykanova, 2018; Zvereva, 2020; Zakharov et al., 2020).

The current presentation of information on state subsidies in federal law No. 10-APK for some sections is detailed as follows: for elite seed breeding, traditional plant breeding, payments of insurance premiums and floating support (in plant breeding section 10.2); for support of pedigree cattle breeding, traditional cattle breeding, payments of insurance premiums and support of milk production (in cattle breeding section 10.3), etc. It is also worth noting that judging by the name, sections 10.2 and 10.3 are devoted to compensating subsidies, which contain information on stimulating subsidies as a separate column.

Discussion and results

Modern economic literature (Kozmenkova, 2014; Nuriyeva, 2016; Zhukovskyy et al., 2019) has been raising the question of creation of a multi-level system of accounting for state aid as part of targeted financing for several years. Although the system can be perceived as complicated and labour-consuming, we think that it is extremely necessary because it provides well for the users informationally (Leuz, 2003; Loureiro, 2015). Besides, we should note that introduction of analytical accounting for state aid should be done by target.

We think that the need for further improvement of information on state assistance in accounting and reporting of farmers is conditioned by the following:

1. There is a need to create a flexible system of accounting for targeted financing, including several levels (subaccounts on orders 1, 2, etc, as well as analytical accounts), which would be formed in accordance with the established mechanism of assistance to agriculture.
2. Development of the best solutions for an enterprise’s structure of information flows about targeted financing on account 86 “Targeted Financing”

should help create the best analysis possibilities of information on state assistance.

3. We need to adjust the name and contents of the industry reporting indicators № 10-APK “Report on the Funds of Targeted Financing”, which, in its turn, connected to consolidation of all subsidies into one, floating support and support to increase productivity in dairy cattle breeding in the form of single subsidy (Morozova, 2019; Movchan and Yakovleva).

Our research helped us formulate the following proposals for further development of information on state aid in accounting and reporting of agricultural companies:

1. We suggest our own structure of account 86 “Targeted Financing” for accounting for state subsidies to the farmers (Table 3). The basis for our proposal is the Voronezh region subsidy mechanism, which was changed in 2020 (Chart 1), the contents of the sectorial (agriculture) form of reporting on the funds of targeted financing and some orders approved by the government of the Voronezh region to regulate provision of grants, which we discussed in Table 2. Thus we suggest opening ledger subaccounts for the enlarged groups of subsidies in account 86 “Targeted Financing” – 86-1 “Combined Subsidies for the Development of Agriculture”, 86-2 “Subsidies for Investment Credits”, 86-3 “Subsidies to Compensate Part of Costs to Create and Upgrade Agricultural Facilities”, 86-4 “Subsidies under Federal Target Programmes”, 86-5 “Other Subsidies”, etc. Subledger accounts should be opened by the type (subgroup) of subsidies. In particular, this is applicable for the so-called united subsidy to develop agricultural sectors. We suggest calling subledger account 86-1-1 “Compensating Subsidies”, while subledger account 86-1-2 – “Stimulating Subsidies”.

2. We have formulated a list of analytical accounts for the proposed ledger and subledger accounts in account 86 “Targeted Financing” by the type of grants to ensure the best information structure for account 86 “Targeted Financing” and increase analytical possibilities of information about state assistance in the accounting system (table 3) using agricultural companies of the Voronezh region – OJSC Rassvet of the Verkhnemamonsky district and OJSC Agrofirma Tikhy Don of the Pavlovsk district. For instance, subledger account 86-1-1 Compensating Subsidies should have the following analytical account: Subsidies to Stimulate Growth of Grains, Legumes and Oilseeds, Subsidies for Elite Seed Production, Subsidies to Develop Meat Animal Husbandry (cattle of meat breed), Subsidies to Compensate Part of Costs to Support Milk Production, etc. We suggest opening the following analytical positions in subledg-

er account 86-1-2 Stimulating: Subsidy to Stimulate Production of Oilseeds, Subsidy to Stimulate Development of Specialized Meat Husbandry as Part of a Priority Agriculture Subsector, Subsidy to Compensate Part of Costs to Support Milk Production, etc. As accounting is getting automated, analytical accounting is arranged by choosing the necessary subaccount for a subsidy as suggested in table 3.

3. We put forward the proposals to improve industry reporting № 10-APK Report on the Funds of Targeted Financing presented in Table 4.

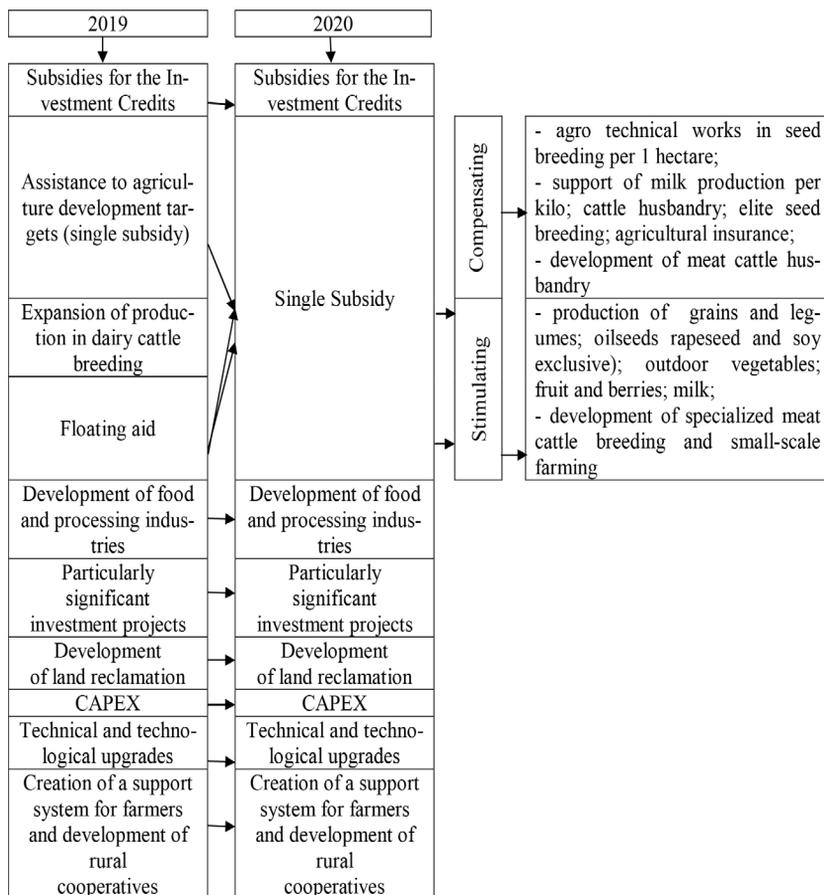


Chart 1. The agriculture subsidy mechanism of the Voronezh region in 2019-2020 was taken as the basis to structure information for account 86 “Targeted Financing”

Table 3.

Proposed structure of account 86 “Targeted Financing” to account for state subsidies

AC-COUNT	LEDGER ACCOUNT	SUBLEDGER ACCOUNT	ANALYTICAL ACCOUNTS (ABSTRACT BY TYPE OF SUBSIDY)
86 Targeted financing	86-1 United subsidies to develop agricultural Sectors	86-1-1 Compensating subsidies	<ol style="list-style-type: none"> 1. Subsidies to boost production of grains, legumes and oilseeds. 2. Subsidies to support elite seed breeding. 3. Subsidies to develop meat animal husbandry (cattle of specialized meat breeds). 4. Subsidies to compensate part of costs to support milk production. 5. Subsidies aimed at boosting dairy cattle productivity (per 1 liter of sold milk) 6. Etc.
		86-1-2 Stimulating Subsidies	<ol style="list-style-type: none"> 1. Subsidy to stimulate oilseed production. 2. Subsidy to stimulate specialized meat cattle breeding within the priority subsector of the rural economy. 3. Subsidy to compensate part of the costs to boost milk production. 4. Etc.
	86-2 Subsidies for investment credits		<ol style="list-style-type: none"> 1. Subsidy to compensate part of the costs to pay interest on investment credits.
	86-3 Subsidies to compensate part of costs to create and upgrade agricultural facilities		<ol style="list-style-type: none"> 1. Subsidy to buy tractors, agricultural machines and equipment produced in the Voronezh region. 2. Subsidy to compensate part of direct costs of creation and/or modernization of storages. 3. Etc.
	86-4 Subsidies under the Federal Target Programme		<ol style="list-style-type: none"> 1. Development of Russian rural land reclamation in 2014-2020. 2. Sustainable development of rural territories in 2014-2017 and until 2020.
86 Targeted financing	86-5 Other Subsidies		<ol style="list-style-type: none"> 1. Subsidy to create and develop agricultural consumer cooperatives. 2. Etc.

Table 4.

Proposals to improve industry reporting № 10-APK Report on the Funds of Targeted Financing presented in Table 4

Existing report	Proposed report
Section (code, name)	Section (code, name)
10-1. Summarized information on rural producers' received state aid	10-1. Summarized information on rural producers' received state aid
10-2. State support of some seed and animal breeding subsectors as well as agricultural insurance (in the form of compensating seed breeding subsidy)	10-2. State support as part of united subsidies to develop agriculture
10-3. State support of some seed and animal breeding subsectors as well as agricultural insurance (in the form of compensating animal breeding subsidy)	10-3. State support to compensate part of interest on investment agricultural credits
10-4. State support of short-term crediting	10-4. State support to compensate part of direct costs to create and upgrade agricultural facilities
10-5. State support of small firms (grants)	10-5. State support as part of the Federal Target Programme
10-6. State support of investment in agriculture	10-6. Other state support
10-7. State support as part of federal projects and state agency programmes, other directions of state support of agriculture	

We think we should provide for the following groups of subsidies in form № 10-APK:

- 10-1 "Summarized information on state assistance to the farmers";
- 10-2 "State assistance as part of unified subsidies to develop agriculture";
- 10-3 "State assistance to compensate part of interest on investment credits in agriculture";
- 10-4 "State assistance to compensate part of direct costs to create and modernize agriculture facilities";
- 10-5 "State assistance as part of the Federal Target Programme";
- 10-6 "Other state assistance".

This is a way to reduce the number of subsidies from 7 to 5.

We believe that our proposals will help increase the quality of information on state assistance in accounting and reporting of farmers.

This study was financed by a grant from the Plekhanov Russian University of Economics

References / Список литературы

1. Adams C. A commentary on: Corporate social responsibility reporting and reputation risk management. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 2008, vol. 21, no. 3, pp. 365–370. <https://doi.org/10.1108/09513570810863950>
2. Ahmed K., Chalmers K., Khlif H. A meta-analysis of IFRS adoption effects. *The International Journal of Accounting*, 2013, vol. 48, no. 2, pp. 173–217. <https://doi.org/10.1016/j.intacc.2013.04.002>
3. Akhmadeev R., Morozova T., Voronkova O., Sitnov A. Targets determination model for vat risks mitigation at B2B marketplaces. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 1197-1216. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(28\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(28))
4. Beisland L.A., Frestad D. How fair-value accounting can influence firm hedging. *Review of Derivatives Research*, 2013, vol. 16, pp. 193–217. <https://doi.org/10.1007/s11147-012-9084-y>
5. Boyko N.A., Chvileva T.A., Romasheva N.V. The impact of coal companies on the socio-economic development of coal mining regions and its assessment. *Ugol*, 2019, vol. 11, pp. 48-53. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-48-53>
6. Bykanova O.A., Akhmadeev R.G., Glubokova N.Y., Kravchuk I.S. The global market of roundwood: Financial aspects. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 8-16. <https://www.agrojournal.org/24/01-02.pdf>
7. Cairns D. The implications of IAS/IFRS for UK companies. *International Journal of Disclosure and Governance*, 2004, vol. 1, pp. 107–118. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jdg.2040017>
8. Dudukalov E.V., Spabekov G.O., Kashirskaya L.V., Sevbitov A.V., Voronkova O.Y., Vasyutkina L.V. Fiscal goals of regulating the activities of the institute of controlled foreign companies in the digital economy. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 972-983. [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2\(59\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2(59))
9. Fomina L. Special budgetary assistance. Conditions, tax implications and accounting for small business subsidies. *Financial newspaper*, 2020, vol. 21, pp. 16-23.
10. Kokorev N.A. Accounting for targeted financing of agricultural organizations in the form of state aid. *Agricultural accounting*, 2019, vol. 9, pp. 27-39.
11. Kozmenkova S.V. Formation of Information on State Aid in Accounting and Reporting under Russian and International Standards. *International Accounting*, 2014, vol. 27, pp. 12-23.
12. Lehoux L., Duck H., Akhmadeev R., Morozova T., Bykanova O. Sustainable development facets: Taxation solutions for the energy industry. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 457-472. [https://doi.org/10.9770/jssi.2019.9.2\(8\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2019.9.2(8))

13. Leuz C. IAS versus U.S. GAAP: Information asymmetry-based evidence from Germany's New Market. *Journal of Accounting Research*, 2003, vol. 41, no. 3, pp. 445–472. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.275348>
14. Loureiro G., Taboada A.G. Do improvements in the information environment enhance insiders' ability to learn from outsiders? *Journal of Accounting Research*, 2015, vol. 53, no. 4, pp. 863–905. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2587836>
15. Malarev V., Bogdanov I., Senchilo N. Algorithm for automatic compensation of voltage dips in power supply of industrial facilities. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, vol. 18, no. 2, pp. 173-180. <https://doi.org/10.5937/jaes18-26361>
16. Milne M., Patten D. Securing organizational legitimacy: An experimental decision case examining the impact of environmental disclosures. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 2002, vol. 15, no. 3, pp. 372–405. <http://dx.doi.org/10.1108/09513570210435889>
17. Morozova T.V., Akhmadeev R.G., Bykanova O.A., Philippova N.V. Harmonizing the valuation standards of the EEU agricultural companies. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 2167-2177. <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i1/A1942058119.pdf>
18. Movchan I.B., Yakovleva A.A. Refined assessment of seismic microzonation with a priori data optimisation. *Journal of Mining Institute*, 2019, vol. 236, pp. 133-141. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.2.133>
19. Müller M.A., Riedl E.J., Sellhorn T. Recognition versus disclosure of fair values. *The Accounting Review*, 2015, vol. 90, no. 6, pp. 2411–2447. <https://www.jstor.org/stable/26550617>
20. Nuriyeva R.I. Development of Accounting and Control of the Targeted Use of Budget Funds in Agricultural Organizations: abstract of dissertation. The Cuban State Agrarian University. 2016, p. 24.
21. On Approval of State Programme of the Voronezh Region Development of Agriculture, Food Production and Agriculture Market Infrastructure – regulation of the Voronezh region government dated December 13, 2013 № 1088 (ed. dated April 28, 2018). <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102169429>
22. On Approval of the Order of Providing Assistance from the Regional Budget to Agricultural Producers (Excluding the People with Small Personal Land Plots), to the Organizations of the Agro-Industrial Complex Regardless of Their Organizational and Legal Forms and Peasant (Farmer) Farms, Agricultural Consumer Cooperatives for Reimbursement of Part of the Costs of Paying Interest on Investment Loans (Credits) Regulation of the Voronezh region government dated October 19, 2018 № 910 (ed. September 03, 2020). <https://docs.cntd.ru/document/550223931>

23. On Approval of the Order of Provision of Regional Budget Subsidies to Agricultural Producers (Excluding the People with a Small Farm) for Floating Support to Seed Breeding and Development of Production of Seed Potato and Outdoor Vegetables for 2016: Regulation of the Voronezh region government dated March 18, 2016 № 164 (ed. dated June 30, 2016). <https://docs.cntd.ru/document/432979504>
24. On Approval of the Order of Provision of Regional Budget Subsidies to Agricultural Producers, Excluding the People with a Small Farm and Agricultural Credit Consumer Cooperatives, to Compensate Part of Costs to Support Milk Production: Regulation of the Voronezh region government dated 28.12.2019 № 1312. <https://docs.cntd.ru/document/561699251>
25. On Approval of the Order of Provision of Subsidies to the Agricultural Producers (Excluding the People with a Small Farm and Agricultural Credit Consumer Cooperatives) to Support Elite Seed Breeding and to Compensate Part of Seed Production Costs: Regulation of the Voronezh region government dated February 07, 2018 № 110 (ed. dated August 26, 2020). <https://docs.cntd.ru/document/446652302>
26. On State Programme of Agriculture Development and Regulation of the Market of Agricultural Products, Raw Materials and Food for 2013-2020. The Russian government regulation dated July 14, 2012 № 717 (ed. dated September 06, 2018). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133795/
27. Order of the Finance Ministry of the Russian Federation dated October 16, 2000 № 92n On Approval of Regulations on Accounting. Accounting of State Aid in Russian Accounting Standard 13/200. *Accounting Standards*. p. 240. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_29296/
28. Patten D. An insider's reflection on quantitative research in the social and environmental disclosure domain. *Critical Perspectives on Accounting*, 2015, vol. 32, pp. 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.cpa.2015.04.006>
29. Pechenkin V.G. Methodological aspects of assessing the effectiveness of government subsidies. *Bulletin of the Irkutsk State Economic Academy*, 2010, vol. 2, pp. 21-23.
30. Peter C., Fiore A., Hagemann U. Improving the accounting of field emissions in the carbon footprint of agricultural products: a comparison of default IPCC methods with readily available medium-effort modeling approaches. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, vol. 21, pp. 791–805. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1056-2>
31. Rahman P.A. Analysis of stationary availability factor of two-level backbone computer networks with arbitrary topology. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015, no. 2. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/2/022016>
32. Sharonova E.A. Accounting for “coronavirus” subsidies. *General ledger*, 2020, vol. 12, pp. 6-21.

33. Strizhenok A.V., Ivanov A.V. Monitoring of air pollution in the area affected by the storage of primary oil refining waste. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 60-67. <https://doi.org/10.12911/22998993/128873>
34. Susiarjo G., Sreenath S.N., Vali A.M. Optimum Supportable Global Population: Water Accounting and Dietary Considerations. *Environment, Development and Sustainability*, 2006, vol. 8, no. 3, pp. 313–349. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-6979-x>
35. Zakharov K.V., Terehova A.A., Kozlov V.N., Bobkova E.Y., Grigoryants I.A. Problems of nature protection in Moscow. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 548, no. 5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052031>
36. Zvereva A., Akhmadeev R., Morozova T., Bykanova O., Avvakumova I. Improving access to environmental information for the subjects of tax relations. *20th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020*, 2020, pp. 279-284. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/5.2/s21.034>
37. Zhukovskyy V., Zhukovska N., Vlasyuk A., Safonyk A. Method of forensic analysis for compromising carrier-lock algorithm on 3G modem firmware. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2019, pp. 1179-1182. <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879941>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Victoria B. Malitskaya, Associate Professor of the Department of Accounting and Taxation

Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation

vmrussian@yandex.ru

Natalia N. Volkova, Associate Professor of Department of Accounting and Audit

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

1, Michurin Str., Voronezh, 394087, Russian Federation

natavolk73@yandex.ru

Anastasia A. Aksenova, Associate Professor of the Department of Accounting and Taxation

Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation

aaksenova.reu@gmail.com

Irina E. Konovalenko, Senior Lecturer of the Department of Accounting and Taxation
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation
kie-irina@mail.ru

Dmitry N. Osyanin, Associate Professor of the Department of Accounting and Taxation
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation
dmitrii-osyanin@mail.ru

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Малицкая Виктория Борисовна, профессор кафедры бухгалтерского учета и налогообложения
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
vmrussian@yandex.ru

Волкова Наталья Николаевна, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I
ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация
natavolk73@yandex.ru

Аксенова Анастасия Андреевна, доцент кафедры бухгалтерского учета и налогообложения
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
aaksenova.reu@gmail.com

Коноваленко Ирина Евгеньевна, старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета и налогообложения
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
kie-irina@mail.ru

Осянин Дмитрий Николаевич, доцент кафедры бухгалтерского учета и налогообложения
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
dmitrii-osyanin@mail.ru

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-321-331

UDC 338.43.02

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF THE AGRICULTURAL SECTOR IN TERMS OF THE CLOSED-CYCLE ECONOMY

N.A. Prodanova, A.A. Savin, S.N. Kosnikov, I.V. Sorgutov

The current stage of development of the agricultural industry is characterized by high rates of automation of production processes. In this regard, the problem of rationalizing the process of distributing agricultural resources and organizing the production chain with added value is becoming more acute. An effective solution to this problem can be a closed-cycle economy model. This model can contribute to the rational use of resources, reduce production losses, and, as a result, improve the quality of products and their volumes. It is necessary to develop a general plan for the implementation of the main postulates of the closed-cycle economy in agriculture, gradually implement the circular economy strategy and include new industrial circular economy in the process of modernization of a particular branch of agriculture. In some areas of agriculture, a cycle of production systems should be established as soon as possible. With the basic implementation of new industrial technologies and industrial development, as well as the stability of the reserves of social resources, it is necessary to steadily increase the new cycle of industrialization in agriculture.

Keywords: *agriculture; closed-cycle economy; industry development*

For citation. *Prodanova N.A., Savin A.A., Kosnikov S.N., Sorgutov I.V. Conceptual approaches to the development of the agricultural sector in terms of the closed-cycle economy. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 321-331. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-321-331*

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ В СВЕТЕ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Н.А. Проданова, А.А. Савин, С.Н. Косников, И.В. Соргутов

Современный этап развития сельскохозяйственной отрасли характеризуется высокими темпами автоматизации производственных процессов. В

той связи обостряется проблема рационализации процесса распределения сельскохозяйственных ресурсов и организации производственной цепочки с добавленной стоимостью. В качестве эффективного решения данной проблемы может выступать модель экономики замкнутого цикла. Указанная модель может способствовать рациональному использованию ресурсов, снижению производственных потерь, и, как следствие, - улучшению качества производимой продукции и ее объемов. Необходимо разработать общий план реализации основных постулатов экономики замкнутого цикла в сельском хозяйстве, поэтапно реализовать стратегию круговой экономики и включить новую промышленную круговую экономику в процесс модернизации той или иной отрасли сельского хозяйства. В некоторых областях сельского хозяйства следует как можно скорее создать цикл производственных систем. При базовой реализации новых промышленных технологий и промышленного развития, а также стабильности запасов социальных ресурсов необходимо неуклонно наращивать новый цикл индустриализации в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сельское хозяйство; экономика замкнутого цикла; развитие отрасли

Для цитирования. Проданова Н.А., Савин А.А., Косников С.Н., Соргутов И.В. Концептуальные подходы к развитию сельскохозяйственной отрасли в свете экономики замкнутого цикла // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 321-331. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-321-331

Introduction

Due to the intensive development of agricultural technologies, many countries are facing serious problems, such as the reduction of land resources and the growth of waste, which increases the risk of air and soil pollution. Therefore, the traditional agricultural model needs urgent transformation and modernization to achieve sustainable development and intensive use of resources [1]. Taking into account the territorial land features, as well as the development opportunities of the industry under consideration, a number of states apply various methods of transformation and modernization of agricultural production, such as "biological agriculture" (Western Europe), "Precision agriculture" (USA), and "Organic agriculture" (Japan).

However, taking into account the development of agricultural production technologies and the need to increase the volume of products produced, the leading countries of the world are gradually turning their attention to the need to implement the technologies used within the framework of a closed-cycle economy model. This model includes the integration of agriculture and animal

husbandry and is a scientific, effective and organic form of planting and growing plants, developed to achieve the following goals [2]:

- environmental safety;
- production of environmentally friendly agricultural products;
- processing of agricultural waste;
- zero (minimum) emissions from agricultural activities.

Despite the positive aspects, the application of this approach faces such problems as dependence on state subsidies, secondary pollution caused by biological gases. In this regard, the optimization of the process of implementing this model becomes the object of research by a number of scientists.

Materials and methods

In the process of writing the work, articles and monographs were analyzed within the framework of the research topic. In addition, analytical and comparative methods were used.

Results

The relevance of the topic under consideration is increasing exponentially, since the demand for food products around the world is growing annually [3]. This need is compounded by the effects of climate change on agricultural systems: rising temperatures and changes in the structure of global precipitation increase the likelihood of a decrease in crop yields and the spread of weeds and pests on agricultural land [4].

The above-mentioned problems open up wide opportunities for the development of a circular economy (CE) using innovative technologies and profitable business methods to solve the problem of recycling agricultural waste, as well as by-products of the industry. The development of CE requires the introduction of closed-loop systems that work to achieve the goals of increasing economic and environmental sustainability [5]. The development of such systems is a departure from traditional linear production models that work through the transfer of natural resources to products, and then to waste [6].

CE assumes a certain model that does not have a net impact on the environment, providing a reduction in the use of natural resources and waste production [7], an effective reduction of waste for processing their valuable related products.

During the transition to a cyclical economy, there is a need for data collection and exchange, investment in innovation and promotion of business cooperation [8]. The transition is required at the level of the supply chain, and not at the level of an individual company, due to the need for comprehensive development

of the system [9]. This entails the need to evaluate and redesign existing production systems, including integrated technological solutions that allow taking into account the biogeochemical and technical aspects of the circular system.

The relevance of the topic under consideration entails an increase in the number of appeals from the world's leading experts to this topic is also increasing. There are several studies devoted to the analysis of the model of agricultural circular economy. Most of them are focused on the assessment of sustainable development, which uses various methods, such as index assessment, model life cycle assessment, etc. Thus, the authors use life cycle assessment methods to compare the differences between traditional and biogas models of the circular economy of pig farms and to assess the environmental and economic benefits of carbon trading [10].

In addition, certain complex agricultural models were proposed for implementation, involving the parallel production of plant and animal products. The results of such studies, in general, prove that the model has allowed to increase the environmental, economic and sustainable advantages of the agricultural production process in comparison with the traditional model. Accordingly, integrated agriculture is a promising model of sustainable development.

Considering the planning of the agricultural development model, the authors use such methods as an analytical hierarchical process, multi-purpose linear programming, and models of system dynamics. A structure based on two-level models of agricultural production planning in arid and semi-arid regions based on fuzzy and interval confidence constraints is also presented. Of particular interest is a framework model that combines agent-based approaches and automated models of settlement growth to provide services for making decisions about a compromise between ecosystems. Accordingly, the development of approaches to the implementation of the main postulates of the closed-cycle economy in the field of agriculture entails the development and proposal of various methods for the practical implementation of integrated technologies in the field of agriculture.

Discussion

The researchers point out that the traditional model of the economy is a one-way flow of a linear economy, namely “resources → products → linear waste growth”, which is based on high-intensity exploitation and consumption of resources and at the same time causes damage to the environment with high intensity. In contrast to the traditional economy, the circular economy is characterized by a low consumption of materials and resources in the production pro-

cess, a low level of pollution, high efficiency and a significant circulation rate, which allows the full use of resources in the production process. As a result, the negative impact of economic activity on nature will be maximally reduced [11].

Thus, a cyclical economy provides economic development, environmental protection and resource savings within the same goal. Its distinctive feature is resource saving and waste recycling, which makes it an indispensable choice for any leading country in the world if it wants to change the model of economic growth from extensive to intensive.

The system of a sustainable economic cycle should have five features. First, production and consumption should, as far as possible, switch from the use of energy that causes environmental pollution to the use of renewable green energy sources. Secondly, consumption of raw materials and choosing materials suitable for recycling should be minimized. Third, one should resist packaging for the purpose of dumping goods and using packaging materials and containers that can be recycled.

Fourth, reducing the number of different types of industrial waste that must be processed as thoroughly as possible at the same time. Fifth, possibility of processing the resources of the post-consumer products industry and minimizing the number of landfills and cases of incineration of household waste should appear [12].

The requirements of a closed-cycle economy are imposed on the construction of its industrial system in three dimensions.

1. Measurement of internal turnover for the development of eco-industrial and sustainable agriculture;

2. The size of the cycle between industries for the development of an ecological production chain or an eco-industrial park (the ecological chain can even be extended to various industries, including industry, agriculture and animal husbandry).

3. Measurement of the general circulation of society for the intensification of the development of the green consumer market and the resource processing industry [13].

The introduction of a circular economy is an inevitable option for the sustainable development of agriculture. This process is the key basis of the overall national economy. There is an urgent need for the sustainable development of agriculture in order to meet the trend of the development of the circular economy.

The problems of environmental pollution, environmental damage and resource depletion in modern traditional agriculture should be resolved using the principles and methods of circular economy.

Among the advantages of agriculture for the development of a circular economy should be called a close connection with the natural environment, respectively, agriculture is more easily accessible for the process of processing materials of natural ecosystems, which allows you to develop and implement a model of economic development based on processing

As a part of nature, agriculture participates in the entire system of circulation of materials and energy, which offers a more direct implementation path for coordinating relations between man and nature and contributes to the sustainable development of mankind, postulated by the circular economy [14].

The characteristics of agricultural industries allow us to speak about the significant advantages of agriculture, which can contribute to its development within the framework of a circular economy. The industrial system of agriculture includes many industries, including crop production, animal husbandry, forestry, fishing, processing of agricultural products, trade in agricultural products and services, which are closely interrelated and synergetic. The natural connection between the agricultural sectors and the integrated features of the structure of agriculture are the basis for the agroecological production chain created and strengthened by the cyclical economy, as well as determining the need to ensure the coordinated development of agricultural sectors [15].

Among the main principles of the closed-cycle economy in the field of agriculture, the following should be mentioned:

1. The need to follow the 3R principle (reduction, reuse, recycling) and the principle of primary waste reduction, which involves reducing the volume of input of limited or non-renewable resources and materials and the volume of waste production throughout the life cycle of agricultural products in the process of agricultural production in order to achieve certain production and consumption goals.

2. Reuse refers to resources or products that must be used multiple times. For example, washing water for livestock and poultry can be used for irrigation, achieving not only the effect of irrigation, but also fertilization.

3. Recycling refers to products that, after completing their function, become newly available resources, and not useless garbage. The principle of the primacy of waste reduction requires the prevention of waste in production as a priority goal of economic activity.

4. In addition, the agro-cyclical economy should support the principles of measurement adapted to local conditions, biological coexistence and mutual benefit, general coordination, maximum green cover, minimum loss of soil fertility, use and protection of land resources, reasonable flow and the best distribution of resources, rationalization of the economic structure, etc. [16].

Clean production, prevention and control of pollution in the process of performing basic agricultural operations is the main vector of movement in the industry under consideration.

Different agricultural sectors can also complement each other in the production chain. Thus, waste from crop production can be used in the production of building materials, paper production, etc. This will make it possible to form a complete and closed ecological industrial network for the exchange of resources for the production of new products. Also, the result of this process can be the effective use of waste and the reduction of environmental pollution due to the activation, optimization, modernization, expansion of various agricultural industries [17].

Agricultural technology systems that support the development of a circular economy should include:

1. The concept of environmentally friendly production in agriculture and the system of environmental technologies.
2. The theory of the life cycle and methods of environmental assessment
3. The concept of environmental management in agriculture and the system of environmental management methods.
4. Principles of the ecosystem and technology systems of the agricultural industry.
5. Laws and regulations of the agricultural circular economy and the implementation of the policy of preferences and the security system.
5. Models of sustainable development of the circular economy of agriculture [18].

On the basis of ecological agriculture, a model of progressive development of the processing economy should be developed in order to produce environmentally friendly agricultural products and environmentally friendly food products. Ecological agriculture of any developed country today should consist in the use of modern science and technology, traditional agricultural methods, principles of ecology and ecological economics and systems of engineering methods for the implementation of integrated planning, rational organization of agricultural production for the purpose of integrated management of low-productive areas and improving the ecological functions of high-yielding areas in accordance with local conditions and the advantages of local resources, achieving high quality, effective and sustainable development of agriculture and a favorable cycle of both ecological and economic systems, as well as effective integration of the economy, ecology and society.

It is also necessary to develop a cyclical model of the economy in the light of organic agriculture in order to develop organic food (products) and organic

industry as a means. Organic industry refers to the ecological branch chain of organic agriculture (organic agriculture, organic forestry, animal husbandry, organic fishing), processing industry, trade and services in the field of organic agriculture.

Organic consumption is also an important factor. Based on the rejection of genetic engineering and chemically synthesized substances, such as chemical fertilizers and pesticides, in the process of agricultural production, organic agriculture follows environmental principles and ecological and economic laws to create and restore a healthy ecological circular system of agriculture. Organic agricultural products must be produced and processed in accordance with the relevant international production standards and through the certification of organic agricultural products. The development of organic agriculture and organic industry is the need to protect the environment, preserve limited resources, develop the rural economy and improve people's lives [19].

The quality of life and protection of human health is an effective way to accelerate the restructuring of agriculture and industrial modernization and effective management of the source of environmental pollution and ensure sustainable agricultural development, as well as the development of an eco – efficiency economy. Therefore, it is necessary to strive to introduce a waste recycling model to promote organic agriculture as a basis, develop organic food (products) for this purpose and develop the organic food industry.

Conclusion

Since the 60s of the 20th century, people have begun to think about the limitations of traditional methods of industrial food production, which is a large consumption of natural resources and the formation of a large amount of waste. The establishment of a production cycle mode in agriculture is to turn it into a production cycle mode “resources → products → waste → renewable resources → processed products”, in which various production and vital waste can fall into the reproduction zones. Thus, the use of the so-called “deep cycle” of agricultural production is being updated.

The system of technologies of cyclic production is the main part of the creation of a circular economy, which is basically a method that uses various wastes for reproduction, including decomposition, synthesis and production.

Accordingly, it is necessary to develop a general plan for the implementation of the main postulates of the closed-cycle economy in agriculture, gradually implement the circular economy strategy and include new industrial circular economy in the process of modernization of a particular branch of agriculture. In some areas of agriculture, a cycle of production systems should be established as soon

as possible. With the basic implementation of new industrial technologies and industrial development, as well as the stability of the reserves of social resources, it is necessary to steadily increase new cycle of industrialization in agriculture.

References / Список литературы

1. Trifonova T.A., Ilyina M.E. The life cycle and its assessment as an environmental management tool: textbook. Vladimir: Arkaim, 2016, 68 p.
2. Brown M.T., Ulgiat S. Assessing the global environmental sources driving the geobiosphere: A revised emergy baseline. *Ecol. Model.*, 2016, vol. 339, pp. 126-132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.03.017>
3. Drobnik T., Huber R., Grêt-Regamey A. Coupling a settlement growth model with an agro-economic land allocation model for securing ecosystem services provision. *J. Environ. Plann. Manag.*, 2017, vol. 60, no. 7, pp. 111-152. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1197828>
4. Feizizadeh B., Blaschke T. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *J. Environ. Plann. Manag.*, 2013, vol. 56, no. 1, pp. 1-23. <https://doi.org/10.1080/09640568.2011.646964>
5. Ilina A.I. *Tsirkulyarnaya ekonomika i tsirkulyarnye biznes-modeli* [Circular economy and circular business models]. Saint Petersburg State University, 2018.
6. Valko D.V. Circular economy: A theoretical model and implementation effects. *National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 8, pp. 1415-1429. <https://doi.org/10.24891/ni.14.8.1415>
7. Galán-Martin A., Pozo C., Guillén-Gosálbez G., Vaiejo A.A., Esteller L.J. Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. *Land Use Pol.*, 2015, vol. 48, pp. 515-524. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.06.022>
8. Batova N., Sachek P., Tochitskaya I. On the Way to Green Growth: Window Opportunities of Circular Economy. BEROG Green Economy Policy Paper Series, 2018. https://beroc.org/en/publications/policy_papers/on_the_way_to_green_growth/
9. García I.F., Perea R.G., Moreno M.A., Montesinos P., Poyato E.C., J.A.R. Diaz Semi-arranged demand as an energy saving measure for pressurized irrigation networks. *Agric. Water Manag.*, 2017, vol. 193, pp. 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.025>
10. Giri S., Nejadhashemi A.P. Application of analytical hierarchy process for effective selection of agricultural best management practices. *J. Environ. Manag.*, 2014, vol. 132, pp. 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.021>
11. Pakhomova N.V., Richter K.K., Vetrova M.A. Transition to a circular economy and closed supply chains as a factor of sustainable development. *Bulletin of St.*

- Petersburg State University. Economy*, 2017, vol. 33, no. 2, pp. 244-268. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2017.203>
12. Brutyan M.M., Vakhromeeva M.P., Vorozheikina T.M. et al. *Problemy Sovremennoy Ekonomiki* [Problems of modern economy] / ed. Chernova S.S. Novosibirsk, 2016, 262 p.
 13. Houshyar E., Wu X.F., Chen G.Q. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *J. Clean. Prod.*, 2018, vol. 172, pp. 2246-2255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.187>
 14. Tao H., Yuping W., Xiaoyue S., Xianqiang M., Liping L., Hai Y. Foreign Trade Deficit in Term of Resource-Environment and Application of Trade Practices for Achieving Environmental Goals. In: Qu F., Sun R., Guo Z., Yu F. (eds) *Ecological Economics and Harmonious Society*. Research Series on the Chinese Dream and China's Development Path. Springer, Singapore. 2016. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0461-2_13
 15. Yu Hong, Nico Heerink, Minjuan Zhao, Wopke van der Werf. Intercropping contributes to a higher technical efficiency in smallholder farming: Evidence from a case study in Gaotai County, China. *Agric. Syst.*, 2019, vol. 173, pp. 317-324. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.007>
 16. Chunli Du, Jinhua Chen. Soft Cluster Analysis of Circular Economy Development Level in China Regions. *Operations Research and Management Science*, 2009, vol. 6, pp. 116-122. <http://dx.doi.org/10.1109/CSO.2009.114>
 17. Serbulova N.M., Gorodnyanskaya A.S., Kanurny S.V. Barriers to the transition to a circular economy. *Ekonomika i Predprinimatel'stvo* [Economy and entrepreneurship], 2018, no. 3 (92), pp. 978-983.
 18. Ruixin Mu, Integrative Evaluation and Case Study on the Development Level of Circular Economy in the city. Central South University, 2009, pp. 39-41.
 19. Shaanxi Provincial Bureau of Statistics: Shaanxi Statistical Yearbook: 2005-2009 Beijing, China Statistical Publishing House.

DATA ABOUT THE ATHORS

Natalia A. Prodanova

Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
prodanova.na@rea.ru

Alexander A. Savin

Financial University
49, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993, Russian Federation

ORCID: 0000-0002-3124-4433
dr.alexander-savin@yandex.ru

Sergey N. Kosnikov

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation
snkosnikov@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2918-8209

Илья В. Sorgutov

Perm State Agro-Technological University named after Academician
D.N. Pryanishnikov
23, Petropavlovskaya Str., Perm, 614990, Russian Federation
Sorgutov_iliya@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3840-8648

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Проданова Наталья Алексеевна

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
prodanova-00@mail.ru

Савин Александр Алексеевич

Финансовый университет при правительстве Российской Федерации
Ленинградский просп., 49, г. Москва, 125993, Российская Федерация
dr.alexander-savin@yandex.ru

Косников Сергей Николаевич

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация
snkosnikov@gmail.com

Соргутов Илья Валерьевич

Пермский государственный аграрно-технологический университет
им. академика Д.Н. Прянишникова
ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, 614990, Российская Федерация
Sorgutov_iliya@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, химии, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

Объем рукописи	7-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10.
Поля	все поля – по 20 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Межстрочный интервал	полуторный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ
ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ УКАЗАНИЯ
ИСТОЧНИКОВ**

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.
2. Цель работы.
3. Материалы и методы исследования.
4. Результаты исследования и их обсуждение.
5. Заключение.
6. Информация о конфликте интересов.
7. Информация о спонсорстве.
8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

AUTHOR GUIDELINES

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is a multi-field dedicated peer reviewed scientific journal designed to promote both fundamental and applied regional achievements in the field of medicine, chemistry, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

Volume of the manuscript	7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10.
Margins	all margins –20 mm each
Main text font	Times New Roman
Main text size	14 pt
Line spacing	1.5 interval
First line indent	1,25 cm
Text align	justify
Automatic hyphenation	turned on
Page numbering	turned off
Formulas	in formula processor MS Equation 3.0
Figures	in the text
References to a formula	(1)
References to the sources	[2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text

DO NOT USE FOOTNOTES
AS REFERENCES

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

КАРДИОЛОГИЯ. СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУТОЧНОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТОНИЕЙ РАНЕЕ ПРОЖИВАВШИХ В УСЛОВИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко	11
--	----

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕТАЛЬНОСТИ ПРИ ПНЕВМОНИЯХ, ВЫЗВАННЫХ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ А.Е. Шкляев, А.С. Лялина, А.А. Хамадуллин, А.В. Шабельник, С.В. Ильин	29
---	----

ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИРА И ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА СИМПТОМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГАСТРОИНТЕСТИНАЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ А.Е. Шкляев, О.А. Григорьева, Ю.С. Мерзлякова, К.В. Максимов, Д.Д. Казарин	46
--	----

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ДЕТЕЙ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ ЗА 2014–2019 ГОДЫ З.М. Мустафаева	63
--	----

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ИНСЕКТИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ АЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ
5-(П-АМИНОФЕНИЛ)-1,3,4-ОКСАДИАЗОЛ-2-ТИОНА
С.М. Тураева, Д.С. Исмаилова, С.Х. Муратова,
С.Б. Аллокулова 74

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ КОРМОВЫХ
ДОБАВОК ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО
РОГАТОГО СКОТА В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ
М.Ф. Григорьев, А.И. Григорьева,
А.А. Сидоров, А.В. Попова 89

- КЛАССИФИКАЦИЯ ВНЕКОРНЕВЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ ЯБЛОНЕВЫХ КУЛЬТУР
МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
С.Н. Терещенко, А.А. Перов, А.Л. Осипов 103

- ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В АРИДНОЙ ЗОНЕ
Д.К. Сучков 119

- АКТИВНОСТЬ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ КИСЛОРОДА
У ЛОШАДЕЙ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ РАЗНОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ
О.А. Коленчукова, Л.В. Степанова, А.С. Федотова,
А.В. Коломейцев, А.В. Макаров 139

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ВЛИЯНИЕ СВЕТОВОЙ ДЕСИНХРОНИЗАЦИИ
НА СТРЕСС-ИНДУЦИРУЮЩИЕ И СТРЕСС-БЛОКИРУЮЩИЕ
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ У СТАРЫХ МЫШЕЙ
П.А. Зульфугарова 158

- МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ
УРАВНЕНИЙ MURRAY C.D. ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СОСУДИСТЫХ ДИХОТОМИЙ ПОЧКИ ЧЕЛОВЕКА
О.К. Зенин, И.С. Милтых, А.В. Дмитриев, О.О. Юрченко 170

ОСОБЕННОСТИ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ КУРСАНТОВ ВУЗА МВД К УСЛОВИЯМ СЛУЖЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Л.Е. Дерягина, С.В. Булатецкий	193
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ НА НАКОПЛЕНИЕ МЕТАБОЛИТОВ В КАПУСТЕ КЕЙЛ (<i>BRASSICA OLERACEA VAR. SABELLICA</i>) Д.Д. Антех, О.А. Тимофеева, А.А. Мостякова	208
СИСТЕМА ГЛУТАТИОНА КАК МЕХАНИЗМ ДЕТОКСИКАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ У ВАКУОЛЕЙ И ПЛАСТИД КЛЕТОК КОРНЕПЛОДОВ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ Е.В. Прадедова, Р.К. Саляев	225
МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСНЫЕ БИОГЕОЦЕНОЗЫ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ Т.А. Михайлова, О.В. Шергина, О.В. Калугина	244
СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВИТАЛИТЕТНАЯ СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ <i>TULIPA GESNERIANA</i> L. НА ЕРГЕНИНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ Н.Ц. Лиджиева, А.С. Очирова, Ж.В. Овадыкова, С.В. Убушаева	261
БИОМЕДИЦИНСКАЯ ХИМИЯ	
QSAR МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ 1,2,4-ТРИАЗОЛА А.Л. Осипов, В.П. Трушина	276
КСАНТИНОКСИДОРЕДУКТАЗА: АКТИВНОСТЬ В КРОВИ ПРИ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕ Е.Э. Мозговая, С.А. Бедина, М.А. Мамус, А.С. Трофименко, С.С. Спицина	288

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИИ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОМОЩИ
В БУХГАЛТЕРСКОМ УЧЕТЕ И ОТЧЕТНОСТИ
СУБЪЕКТОВ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

**В.Б. Малицкая, Н.Н. Волкова, А.А. Аксенова,
И.Е. Коноваленко, Д.Н. Осянин** 305

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ В СВЕТЕ
ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

**Н.А. Проданова, А.А. Савин, С.Н. Косников,
И.В. Соргутов** 321

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 332

CONTENTS

CARDIOLOGY AND CARDIOVASCULAR MEDICINE

- FEATURES OF INDICATORS OF 24-HOUR MONITORING
OF BLOOD PRESSURE IN ELDERLY PERSONS WITH ARTERIAL
HYPERTENSION WHO PREVIOUSLY LIVED IN POLAR REGIONS
R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko 11

INTERNAL MEDICINE

- CHARACTERISTIC OF MORTALITY IN PNEUMONIA CAUSED
BY NEW CORONAVIRAL INFECTION
**A.E. Shklyayev, A.S. Lyalina, A.A. Khamadullin,
A.V. Shabelnik, S.V. Ilyin** 29

- INFLUENCE OF EATING BEHAVIOR, FAT DISTRIBUTION
AND PHYSICAL ACTIVITY ON SYMPTOMS OF FUNCTIONAL
GASTROINTESTINAL DISORDERS
**A.E. Shklyayev, O.A. Grigorieva, Yu.S. Merzlyakova,
K.V. Maximov, D.D. Kazarin** 46

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

- STUDY OF QUALITY INDICATORS OF OBLIGATORY MEDICAL
EXAMINATION OF CHILDREN IN AZERBAIJAN FOR 2014–2019
Z.M. Mustafayeva 63

AGRICULTURAL SCIENCES

- INSECTICIDAL ACTIVITY OF ALKYL DERIVATIVES
5-(P-AMINOPHENYL)-1,3,4-OXADIAZOL-2-THIONE
S.M. Turaeva, D.S. Ismailova, S.Kh. Muratova, S.B. Allokulava 74

- USE OF THE ORGANOMINERAL FEED ADDITIVES FOR RAISING
YOUNG CATTLE IN THE CONDITIONS OF YAKUTIA
M.F. Grigorev, A.I. Grigoreva, A.A. Sidorov, A.V. Popova 89

APPLE CROPS FOLIAR DISEASES CLASSIFICATION
BY COMPUTER VISION METHODS

S.N. Tereshchenko, A.A. Perov, A.L. Osipov 103

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY PROTECTIVE
AFFORESTATION IN THE ARID ZONED

D.K. Suchkov 119

ACTIVITY OF OXYGEN RADICALS IN HORSES
UNDER PHYSICAL LOADS OF DIFFERENT INTENSITIES

**O.A. Kolenchukova, L.V. Stepanova, A.S. Fedotova,
A.V. Kolomeytshev, A.V. Makarov** 139

BIOLOGICAL SCIENCES

EFFECT OF LIGHT DESYNCHRONIZATION
ON STRESS-INDUCING AND STRESS-BLOCKING
PHYSIOLOGICAL MECHANISMS IN AGED MICE

P.A. Zulfugarova 158

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF C.D. MURRAY'S LAW
APPLIANCE FOR NUMERICAL MODELING OF VASCULAR
DICHOTOMIES OF KIDNEYS

O.K. Zenin, I.S. Miltykh, A.V. Dmitriev, O.O. Iurchenko 170

FEATURES OF SOCIO-PSYCHOLOGICAL
AND PHYSIOLOGICAL ADAPTATION OF CADETS
OF THE UNIVERSITY OF THE MINISTRY OF INTERNAL
AFFAIRS TO THE CONDITIONS OF SERVICE ACTIVITY

L.E. Deryagina, S.V. Bulatetskiy 193

ASSESSMENT OF MINERAL NUTRIENT IMPACT ON METABOLITES
ACCUMULATION IN KALE (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *SABELLICA*)

J.D. Anteh, O.A. Timofeeva, A.A. Mostyakova 208

GLUTATHIONE SYSTEM IS A DETOXIFICATION
MECHANISM OF HERBICIDES IN VACUOLES AND PLASTIDS
OF RED BEETROOT CELLS

E.V. Pradedova, R.K. Salyaev 225

MONITORING OF ANTHROPOGENIC FACTORS
INFLUENCE ON FOREST BIOGEOCENOSIS IN THE SOUTH
COAST OF LAKE BAIKAL

T.A. Mikhailova, O.V. Shergina, O.V. Kalugina 244

STRUCTURE OF MORPHOLOGICAL VARIABILITY
AND VITALITY STRUCTURE OF CENOPOPULATIONS
OF *TULIPA GESNERIANA* L. ON THE ERGENINSKAYA HILL

**N.Ts. Lidzheva, A.S. Ochirova, Zh.V. Ovadykova,
S.V. Ubushaeva** 261

BIOMEDICAL CHEMISTRY

QSAR MODELING OF ANTIBACTERIAL ACTIVITY
WITH 1,2,4-TRIAZOLE DERIVATIVES

A.L. Osipov, V.P. Trushina 276

XANTHINE OXIDOREDUCTASE: ACTIVITY OF BLOOD
IN RHEUMATOID ARTHRITIS

**E.E. Mozgovaya, S.A. Bedina, A.S. Trofimenko,
M.A. Mamus, S.S. Spitsina** 288

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

IMPROVEMENT OF INFORMATION QUALITY
ON STATE ASSISTANCE IN ACCOUNTING AND REPORTING
OF AGRICULTURAL COMPANIES

**V.B. Malitskaya, N.N. Volkova, A.A. Aksenova,
I.E. Konovalenko, D.N. Osyanin** 305

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT
OF THE AGRICULTURAL SECTOR IN TERMS
OF THE CLOSED-CYCLE ECONOMY

N.A. Prodanova, A.A. Savin, S.N. Kosnikov, I.V. Sorgutov 321

RULES FOR AUTHORS 332

Подписано в печать 30.06.2021. Дата выхода в свет 30.06.2021. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 24,51. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA133/021. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.